

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DISERTAČNÍ PRÁCE

2016

Ing. Vojtěch Jirsa

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

Matematický model závislosti cyklistické dopravy na počasí

Ing. Vojtěch Jirsa

Disertační práce

2017

Studijní program:

P3710 Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor:

3708V024 Technologie a management v dopravě a telekomunikacích

Školitel: doc. Ing. Jaroslav Kleprlík, Ph.D.

Školitel specialista: Ing. Michaela Ledvinová, Ph.D.

Disertační práce vznikla na školícím pracovišti:

Katedra technologie a řízení dopravy

Prohlášení

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 4. 4. 2017

Vojtěch Jirsa

Anotace

Disertační práce se zabývá modelováním závislosti mezi časovými faktory, faktory počasí a cyklistickou dopravou. Jsou v ní analyzovány odborné publikace a zdroje, vztahující se k řešené problematice, z České republiky a ze zahraničí (Belgie, Kanada, Nizozemsko, Rakousko, Spojené státy Americké, Švédsko). V práci byl vytvořen matematický model závislosti cyklistické dopravy na počasí ve dvou variantách: s využitím neuronových sítí a s využitím metody zobecněného lineárního/nelineárního modelování. Obě varianty jsou porovnány a je posouzena vhodnost jejich použití. V práci je dále popsána metoda pro odhad charakteru provozu na základě variací hodinových intenzit cyklistické dopravy, metoda pro určení spolehlivosti kalibrovaných sčítacích zařízení a metoda pro extrapolaci chybějících dat.

Klíčová slova

Cyklistická doprava, model, neuronové sítě, počasí.

Title

Mathematical model of weather-cycling relationship

Annotation

Dissertation thesis is focussed on modelling of relationship of bicycle use, time and weather parameters. The literature review is performed in the first section of the theses, comprising the outputs of scientific papers and literature from the Czech Republic and abroad (Belgium, Canada, the Netherlands, Austria, United States of America, Sweden). The mathematical model of weather-cycling relationship was developed in two versions: using the neural networks theory and generalised linear/nonlinear modelling. Both methods are compared and their suitability is critically discussed. In the thesis, the method for estimation of trip characteristics based on hourly variation of bicycle counts is outlined. Method to determine the accuracy of bicycle counters and method for extrapolation of missing values are introduced.

Keywords

Cycling, model, neural networks, weather.

Na tomto místě bych rád poděkoval svému školiteli, panu doc. Ing. Jaroslavu Kleprlíkovi, Ph.D. a školitelce specialiste Ing. Michaela Ledvinové, Ph.D. za cenné připomínky a kvalitní odborné vedení této disertační práce a také celého doktorského studia. Za pomoc a odborné vedení bych rád poděkoval i doc. Ing. Josefu Bulíčkoví, Ph.D, Yusaku Susilovi, Chen-Xi Liu.

OBSAH

ÚVOD	12
1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU V MODELOVÁNÍ ZÁVISLOSTI CYKLISTICKÉ DOPRAVY NA POČASÍ	14
1.1 Přístupy k určování vlivu počasí na dopravní chování a cyklistickou dopravu	14
1.1.1. Vyřčené preference	15
1.1.2. Projevené preference – sociologická šetření	15
1.1.3. Sledování dopravních proudů – sčítání dopravy	16
1.2 Analýza současného stavu v ČR	17
1.3 Analýza současného stavu v zahraničí	21
1.1.4. Nizozemí – města Gouda a Ede.....	22
1.1.5. Canada, USA – města Montreal, Ottawa, Vancouver, Portland a Quebec	23
1.4 Využití poznatků vyplývajících z analýzy současného stavu v disertační práci	25
2 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE	27
2.1 Cíl práce	27
2.2 Kroky vedoucí k naplnění cíle	27
2.3 Další cíle disertační práce	29
3 PŘEHLED ZVOLENÝCH METOD ZPRACOVÁNÍ	30
3.1 Statistická analýza dat	30
3.2 Neuronové sítě	30
3.3 Obecný lineární / nelineární model	32
3.4 Lineární programování	32
3.5 SW nástroje pro řešení disertační práce	32
4 NÁVRH MATEMATICKÉHO MODELU ZÁVISLOSTI INTENZIT CYKLISTICKÉ DOPRAVY NA POČASÍ	33
4.1 Sběr dat ze systémů pro automatické sčítání cyklistické dopravy	33
4.2 Úprava dat	36
4.2.1 Spolehlivost a kalibrace dat.....	36
4.2.2 Úprava formátu zdrojových dat a agregace dat	41
4.3 Statistická analýza dat	43
4.4 Analýza nestandardních krátkodobých a dlouhodobých variací	46
4.4.1 Variace hodinových intenzit.....	46
4.4.2 Odhad charakteru provozu cyklistické dopravy na základě denních variací hodinových intenzi ...	49
4.4.3 Variace denních intenzit	54
4.4.4 Variace měsíčních intenzit	56
4.4.5 Variace ročních intenzit.....	59
4.4.6 Shrnutí analýzy nestandardních krátkodobých a dlouhodobých variací	62
4.5 Povětrnostní vlivy	62
4.6 Parametry a výstupy použitých matematických modelů	65

4.6.1	Proměnné modelu.....	65
4.6.2	Neuronové sítě.....	66
4.6.3	Zobecněný lineární/nelineární model	72
4.6.4	Vliv počasí	73
5	VYHODNOCENÍ A DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ	76
5.1	Hodnocení a srovnání použitých modelů	76
5.2	Určení přínosu práce pro vědeckou komunitu a praxi	79
5.3	Vytyčení dalších výzkumných úkolů a problémů k řešení	81
6	VLASTNÍ PŘÍNOSY DOKTORANDA	82
7	ZÁVĚR	83
8	POUŽITÁ LITERATURA	84
9	PUBLIKAČNÍ ČINNOST.....	88

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Ukázka formátu zdrojových dat ze systému pro automatické sčítání CD v Praze.	36
Tabulka 2 Ukázka formátu zdrojových dat ze systému pro automatické sčítání CD v Praze.	40
Tabulka 3 Průměrná denní intenzita, počet dní s nulovou denní intenzitou a počet dní vyřazených – s nulovou denní intenzitou v jednotlivých profilech.	42
Tabulka 4 Přehled dostupných atributů počasí.	63
Tabulka 5 Agregace hodnot atributu podmínky do čtyř kategorií.	64
Tabulka 6 Přehled vstupních proměnných.	65
Tabulka 7 Přehled užitých aktivačních funkcí.	66
Tabulka 8 Celkové zhodnocení použitých modelů.	77

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Variace hodinových intenzit cyklistické dopravy.....	20
Obrázek 2 Schéma aplikace neuronové sítě na problematiku disertační práce	31
Obrázek 3 Mapa sčítacích profilů v Praze	34
Obrázek 4 Mapa sčítacích profilů v Pardubicích	35
Obrázek 5 Schéma osazení indukčních smyček a jejich připojení k datovým jednotkám	35
Obrázek 6 Maximální relativní odchylka od průměru v závislosti na podílu chybných záznamů na úrovni významnosti 95%, pro různou velikost vzorku	38
Obrázek 7 Algoritmus pro úpravu formátu zdrojových dat v Pardubicích	41
Obrázek 8 Algoritmus pro tvorbu statistik zdrojových dat	44
Obrázek 9 Rozsah vzorku v profilech: doba sčítání dle směru, doba vyřazených záznamů, celkový počet záznamů, průměr intenzit	45
Obrázek 10 Algoritmus pro tvorbu vzorku dat obsahujících pouze vybrané dny	46
Obrázek 11 Algoritmus pro výpočet průměrů hodinových intenzit.....	47
Obrázek 12 Průměrné podíly hodinových intenzit na denní intenzitě v pracovní dny.....	48
Obrázek 13 Průměrné podíly hodinových intenzit na denní intenzitě ve dnech pracovního volna	49
Obrázek 14 Mapa sčítacích profilů v Praze	53
Obrázek 15 Výpočet průměrných denních intenzit pro dny v týdnu	55
Obrázek 16 Graf poměrů intenzit daného dne vůči průměrné denní intenzitě.....	55
Obrázek 17 Výpočet průměrných denních intenzit pro měsíce roku	56
Obrázek 18 Graf poměrů intenzit daného měsíce vůči průměru měsíčních intenzit	57
Obrázek 19 Výpočet průměrných denních intenzit pro jednotlivé roky	59
Obrázek 20 Graf vývoje ročních průměrů denních intenzit cyklistické dopravy během let 2010-2015	60
Obrázek 21 Graf poměrů intenzit daného roku vůči průměru intenzit za sledované období	61
Obrázek 22 Algoritmus pro stažení údajů o počasí ze serveru Wunderground.com	63
Obrázek 23 Trénovací graf pro MLP 66-20-1, lokalita Pardubice_Totem most Wonky	67
Obrázek 24 Graf závislosti predikovaných hodnota a pozorovaných hodnot (NN), lokalita Pardubice_Totem most Wonky	68
Obrázek 25 Histogram reziduí, lokalita Pardubice_Totem most Wonky.....	70
Obrázek 26 Graf závislosti predikovaných hodnot a pozorovaných hodnot po odstranění chyb ve vstupních datech (NN), lokalita Pardubice_Totem most Wonky	72
Obrázek 27 Graf závislosti predikovaných hodnota a pozorovaných hodnot (GLZ), lokalita Pardubice_Totem most Wonky	73
Obrázek 28 Graf závislosti predikovaných hodnota a pozorovaných hodnot při vyřazení parametrů počasí (NN), lokalita Pardubice_Totem most Wonky	74

SEZNAM ZKRATEK

ABA	activity based approach
AIC	Akaike Information Criterion
ANOVA	Analysis of variance
ARMA	Autoregressive–moving-average model
CD	cyklistická doprava
CSV	comma separated values - hodnoty oddělené čárkami
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
GLZ	Generalized Linear/Nonlinear Models – zobecněný lineární/nelineární model
GSM	Groupe Spécial Mobile - globální systém pro mobilní komunikaci
IAD	individuální automobilová doprava
KTH	Královská technická univerzita ve Stockholmu
MHD	městská hromadná doprava
MLP	Multi Layer Perceptron
MS	MicroSoft
NS	neuronové sítě
PET	physiologically equivalent temperature
R	programovací jazyk a prostředí pro statistické výpočty a grafiku
RBF	radial basis function
TP	technické podmínky
TBA	trip based approach
VD	veřejná doprava

ÚVOD

K proměně klimatu dochází na globální úrovni a přirozeně také v jednotlivých klimatických regionech. Kromě změny dlouhodobých průměrů hodnot počasí, bude stále častěji docházet k výskytům extrémních období, například dlouhotrvajících období sucha a srážek. Není proto žádným překvapením, že aktuálním předmětem výzkumu mnoha vědních oborů je právě vliv počasí na nejrůznější oblasti lidských činností a životního prostředí. Stejně jako vliv počasí na ekosystémy, zemědělství, lidské zdraví, nebo energetiku je předmětem zkoumání také to, jak počasí ovlivňuje dopravní chování.

Cyklistická doprava je obecně považována za udržitelný druh dopravy. Jednou z jejích mnoha předností je nezávislost na fosilních palivech a nulové emise skleníkových plynů, při zanedbání emisí souvisejících s výrobou jízdních kol a dopravní infrastruktury. V době probíhající globální změny klimatu je její další rozvoj častým cílem dopravních strategií. Je otázkou, jak samotná změna klimatu ovlivní rozvoj cyklistické dopravy. Mimo to je znalost závislosti mezi jednotlivými parametry počasí a využitím cyklistické dopravy klíčová pro hodnocení trendů vývoje, respektive pro hodnocení plnění cílů dopravních strategií. Znalost závislosti může být dále užita pro zpřesnění dopravních modelů.

V mnoha městech světa i České republiky je kontinuální sledování intenzit cyklistické dopravy na významných pozemních komunikacích dnes již běžnou praxí. Data získávaná ze systémů pro automatické sčítání cyklistické dopravy jsou ve většině případů používána pro sledování dopravních proudů cyklistů. Vyhodnocovány jsou denní a roční intenzity, nebo intenzity cyklistické dopravy ve špičkovou hodinu. Další možnosti aplikace vyplývající z rozsáhlých vzorků dat, které jsou ze systémů získávány, však zatím nebyly zkoumány (např. hodnocení variací intenzit cyklistické dopravy v čase, hodnocení trendů, odhad charakteru provozu cyklistické dopravy, hodnocení závislosti na faktorech počasí). Nebyly řešeny ani další úkoly související se samotným pořízením dat – kalibrace a posouzení spolehlivosti kalibrovaných sčítacích zařízení, extrapolace chybějících dat apod.

Základní soubor dat použitý v této práci byl získán ze systémů pro automatické sčítání cyklistické dopravy v Praze a v Pardubicích. Oba systémy dohromady obsahují celkem 34 sčítacích lokalit. Jedná se o dva nejrozsáhlejší systémy tohoto typu v České republice. Přičemž 6 lokalit v pražském systému je v provozu již od roku 2010.

Tato disertační práce obsahuje shrnutí a zhodnocení současného stavu poznání v oblasti modelování závislosti cyklistické dopravy na počasí. Dále potom obsahuje vytyčení hlavních a

vedlejších cílů práce a zvolených metod zpracování. Hlavním cílem návrhové části je návrh matematického modelu závislosti intenzit cyklistické dopravy na počasí a dalších krátkodobých faktorech. Model na bázi neuronových sítí je následně zhodnocen a porovnán se zobecněným lineárně/nelineárním modelem.

Jednotlivé kroky, které předcházejí samotnou tvorbu matematického modelu, obsahují získání a zejména statistickou analýzu dat. V rámci analýzy dat jsou naplněny vedlejší cíle práce. Je to návrh metody pro určení spolehlivosti kalibrovaných sčítacích zařízení. V rámci analýzy nestandardních krátkodobých a dlouhodobých variací, je navržena metoda pro odhad charakteru provozu cyklistické dopravy na základě variací hodinových intenzit.

1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU V MODELOVÁNÍ ZÁVISLOSTI CYKLISTICKÉ DOPRAVY NA POČASÍ

První kapitola disertační práce shrnuje stav poznání v rámci řešené problematiky. Vychází z analýzy, která byla provedena v rámci Oborné práce ke státní doktorské zkoušce (Jirsa, 2016). V první podkapitole je nejprve uveden přehled různých přístupů k určování vlivu počasí na dopravní chování a cyklistickou dopravu (CD). Tento přehled je zestručněním přehledu, který byl uveden v rámci Odborné práce ke státní doktorské zkoušce (Jirsa, 2016). Dále je v následujících podkapitolách (1.2 a 1.3) provedena analýza těch studií, ze kterých autor disertační práce přímo vychází. Tyto relevantní studie vychází z obdobných dat a využívají obdobné metody řešení, které jsou využity v disertační práci. Relevantní studie jsou ve srovnání s Odbornou prací pro státní doktorskou zkoušku (Jirsa, 2016) analyzovány ve větším detailu. Druhá podkapitola (1.2) se zabývá analýzou relevantních studií publikovaných v ČR. Významná je ve vztahu k dalším částem disertační práce podkapitola 1.3, shrnuje totiž poznatky zahraničních autorů relevantních studií. Ty se na rozdíl od studií publikovaných v ČR podrobně zabývají danou problematikou. Čtvrtá podkapitola (1.4) shrnuje způsob využití poznatků vyplývajících z analýzy současného stavu v disertační práci.

1.1 Přístupy k určování vlivu počasí na dopravní chování a cyklistickou dopravu

V rámci analýzy současného stavu vědeckého poznání byly autorem revidovány dostupné studie zabývající se danou problematikou. Tyto studie jsou charakteristické třemi odlišnými přístupy, které lze definovat na základě použití různých výchozích dopravně-inženýrských údajů. V této podkapitole (1.1) jsou tyto přístupy postupně stručně popsány a okomentovány. Jedná se o přístupy vycházející z následujících údajů/dat:

- 1) Vyřčené preference,
- 2) projevené preference – sociologická šetření,
- 3) projevené preference – sledování dopravních proudů.

Od druhu údajů, se kterými jednotlivé studie pracují, se dále odvíjí způsob sběru, struktura, množství, charakter a kvalita analyzovaných dat. Odlišné jsou rovněž metody jejich následného zpracování. K dispozici jsou přehledy literatury zaměřené na tematiku faktorů ovlivňujících dopravní chování (viz přehledy, Koetse and Rietveld 2009; Böcker et al., 2013a; Dijst et al., 2013; Liu et al., 2016). Z evropských autorů lze uvést například studii provedenou v okolí holandských měst Gouda a Ede (Thomas et. al., 2012), z dřívějších studií pak práce

z Rakouska (Brandenburg, 2007), či Švédska (Bergström a Magnusson, 2003). Z mimoevropských publikací lze uvést například, Kanadu (Winters et. al., 2010; Miranda-Moreno and Nosal, 2011) a Austrálii (Nankervis, 1999). Autorovi disertační práce se nepodařilo nalézt práce odpovídající kvality v oblasti střední a východní Evropy (výjimku tvoří výše uvedená práce z Rakouska), Asie a Jižní Ameriky.

Všechny autorovi známé studie, bez ohledu na jejich zaměření, docházejí k závěru, že počasí ovlivňuje dopravní chování. Některé studie dále docházejí k závěru, že cyklistická doprava reaguje nejcitlivěji ze všech dopravních módů na variace povětrnostních vlivů (e.g. Liu et. al., 2014; Liu et al., 2015b).

1.1.1. Vyřčené preference

Vedle švédských studií zaměřených specificky na hodnocení vlivu zimní údržby na využití cyklistické dopravy (Bergström and Magnusson, 2003; Cools et al., 2010), byly provedeny studie, které hodnotí vliv povětrnostních vlivů obecně. Jako příklad lze uvést studii provedenou v metropolitní oblasti kanadského Vancouveru (Winters et. al., 2010).

Problémem těchto typů průzkumu je nesoulad mezi popisem skutečnosti a pochopením této skutečnosti samotným respondentem. Například kategorie „ledová či zasněžená vozovka“ pokrývá celou řadu situací od dobře sjízdné mírně zasněžené cesty až po hladkou ledovou plochu. Je třeba přihlídnout také k tomu, že skutečné chování nemusí odpovídat vyřčeným preferencím. Proto není studie vyřčených preferencí vhodným přístupem pro exaktní hodnocení faktorů ovlivňujících cyklistickou dopravu a tento přístup nelze užít pro účely disertační práce. Studie tohoto charakteru mohou být vhodným doplňkem, který umožňuje pochopit způsob, jakým lidé při volbě dopravního prostředku uvažují a mohou být využity například pro účely informačních a komunikačních kampaní.

1.1.2. Projevené preference – sociologická šetření

V průzkumech dopravního chování jsou obvykle získávány detailní informace o jednotlivých cestách (například účel, čas a délka) a osobách, které cesty realizují. Nevýhodou je nízká dostupnost dat zejména ve středně velkých a menších českých městech (méně než 100 tis. obyvatel), která je důsledkem vysokých nákladů spojených s realizací dotazníkového šetření, respektive sběrem dat. Komplexní šetření jsou prováděna zpravidla jako face to face interview v domácnostech v kombinaci s dalšími metodami sběru dat: telefonický rozhovor, webový formulář, emailový dotazník. V důsledku toho nejsou ve většině českých měst data o dopravním chování k dispozici (Šenk 2014; Jirsa, 2015a).

Ze studií realizovaných v ČR, které se zabývají hodnocením faktorů ovlivňujících dopravní chování lze uvést například výzkumnou zprávu kolektivu autorů z Centra pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy v Praze (Brůhová-Foltýnová et. al., 2008). Uvedená výzkumná zpráva nezohledňuje počasí jako vysvětlující proměnou a obecně se více zaměřuje na dlouhodobé faktory ovlivňující dopravní chování.

Aktuální zahraniční studii, která hodnotí krátkodobé faktory ovlivňující dopravní chování, je studie autorů Liu, Susilo a Karlström z Královské technické univerzity ve Stockholmu (Liu et. al., 2015a). Práce vychází z dat z celostátního průzkumu dopravního chování ve Švédsku získaných v průběhu 13 let a obsahuje celkem 12 modelů (multinomiální LOGIT) pro posouzení významu jednotlivých regresorů v závislosti na regionu a sezóně. Autoři docházejí mimo jiné k závěrům, že závislost mezi změnou teploty a počtem cest na kole není lineární. Jako příklad nelinearity lze uvést zimní sezónu v severní části Švédska, kde výkyvy teplot, s ohledem na trvalou sněhovou pokrývku a hluboký mráz, již nehrají roli. Naopak význam změn teplot je v severním Švédsku v průběhu jara a podzimu významnější, než ve střední a jižní části země. Například teploty klasifikované jako velmi chladné mají v severním Švédsku v jarním období 2,5 krát větší vliv na užití cyklistické dopravy. Dalším závěrem je například to, že ze všech druhů dopravy reaguje cyklistická doprava nejvýznamněji na výskyt srážek, nebo že sněhová pokrývka snižuje počet cest na kole a zvyšuje počet cest pěší chůzí (Liu et. al., 2015a).

Údaje o cestách získávané v průzkumech dopravního chování je možné použít pro exaktní hodnocení faktorů ovlivňujících cyklistickou dopravu. Jejich výhodou je, že obsahují další informace o cestách, které mohou ovlivňovat citlivost uživatelů k povětrnostním vlivům (například účel cesty nebo délku cest). Nevýhodou jsou potom vysoké náklady související s nutností realizovat sociologická šetření v domácnostech pro získání reprezentativního vzorku dat. Náklady na pořízení průzkumu dopravního chování se pohybují v řádu stovek tisíc až jednotek milionů Kč (údaje o cenách byly získány při osobní konzultaci autora se zástupci zpracovatelů průzkumů dopravního chování). Z tohoto důvodu jsou data v menších a středních městech často nedostupná.

1.1.3. Sledování dopravních proudů – sčítání dopravy

Vhodnou a finančně dostupnou alternativou k průzkumům dopravního chování je sledování dopravních proudů CD a to zejména pomocí zařízení pro kontinuální automatické sčítání CD. Existuje více dostupných technologií pro monitoring průjezdů cyklistů sledovaným profilem (indukční smyčky, systémy videodetekce, mikrovlnné detektory apod.). Pořizovací

náklady detektorů začínají již na desítkách tisíc Kč (údaje o cenách byly získány při osobní konzultaci autora se zástupci zpracovatelů průzkumů dopravního chování). Jejich výhodou je možnost získání obsáhlého vzorku dat. U přenosných technologií mohou být postupně získávána data v různých lokalitách.

Právě z důvodu jejich dostupnosti byla autorem pro tvorbu matematického modelu závislosti intenzit cyklistické dopravy na počasí zvolena data ze systému pro automatické sčítání cyklistické dopravy. Dostupnost dat nebude výhodou pouze při samotné tvorbě modelu a plnění dalších dílčích a vedlejších cílů disertační práce, ale zejména při následné aplikaci výsledků zkoumání a použití navržených metod v praxi. Jako výchozí data pro tvorbu matematického modelu jsou v disertační práci zvolena data ze systémů pro automatické sčítání cyklistické dopravy. Existuje řada převážně zahraničních prací, které se tímto tématem zabývaly. V následujících podkapitolách 1.2 a 1.3 budou detailně popsány jednotlivé práce včetně použitých dat, metod a získaných výstupů.

1.2 Analýza současného stavu v ČR

V roce 2016 byl publikován článek zabývající se vlivem klimatických podmínek na intenzitu cyklistické dopravy v Pardubicích (Antonová et al., 2016). Článek rovněž vychází z dat získaných v Pardubicích stejně, jako tato disertační práce. Vedle článků publikovaných autorem této disertační práce (Jirsa, 2015b) se jedná o jedinou takto konkrétně zaměřenou práci v ČR. Přístupy obou autorů se však liší. Antonová používá k posouzení vlivu teploty na cyklistickou dopravu Pearsonův výběrový koeficient korelace který vyjadřuje míru závislosti dvou náhodných veličin X a Y (viz vztah 1):

$$R_{X,Y} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad [-] \quad (1)$$

kde: $R_{X,Y}$... Pearsonův výběrový koeficient korelace [-],
 X, Y ... náhodné veličiny s konečným nenulovým rozptylem [-].

K posouzení vlivu klimatických podmínek (jasno, polojasno, zataženo, déšť, sněžení) využívá jednofaktorovou analýzu rozptylu ANOVA (Analysis of variance). Přičemž jako testovací kritérium používá F statistiku.

$$F = \frac{\frac{S_{y,n}}{k-1}}{\frac{S_{y,v}}{n-k}} \quad [-] \quad (2)$$

kde:	F	... hodnota F statistiky [-],
	$S_{y,n}$... mezi skupinový součet čtverců odchylek od průměru [-],
	$S_{y,v}$... vnitroskupinový součet čtverců odchylek od průměru [-],
	k	... počet rozlišovaných kategorií u faktoru [-],
	n	... velikost vzorku [-].

Dále je zjištěn 95% kvantil Fisherova F rozdělení pravděpodobnosti pro $k-1$ a $n-k$ stupňů volnosti, který je porovnán s vypočtenou hodnotou F statistiky. Hypotéza je následně buď potvrzena – není prokázána závislost mezi ovlivňujícím faktorem a náhodnou veličinou, nebo vyvrácena – faktor ovlivňuje sledovaný jev.

Uvedené metody použité v práci Antonové (Antonová, 2016) neumožňují zahrnutí dalších klíčových ovlivňujících faktorů jako je období roku, den v týdnu, nebo denní doba. Použité metody by bylo možné aplikovat za předpokladu dostatečného rozsahu vzorku, který by byl s ohledem na vlivy sezóny, dne a času reprezentativní. Studie však vychází ze vzorku dat s nedostatečným rozsahem – celkem bylo zaznamenáno pouze 6716 cyklistů. Údaje byly navíc pořízeny v různé období roku, dny v týdnu, v různých časech a v různých lokalitách. Vzhledem k tomu, že v profilech některých komunikací v Pardubicích je průměrná denní intenzita vyšší než 1500 cyklistů za den (například po mostě Pavla Wonky projede 2770 cyklistů za den), nemůže být vzorek obsahující 6716 cyklistů reprezentativní pro různé lokality, období roku, dny v týdnu a denní doby. V této disertační práci je rozsah vzorku v jednotlivých profilech vždy minimálně v řádu stovek tisíc (například pro západní část profilu mostu Pavla Wonky se jedná o vzorek s celkovým počtem průjezdů 1,4 mil.). Pro srovnání, celkový počet průjezdů pro všechny sledované lokality v disertační práci je 20,9 mil. V disertační práci jsou navíc časové vlivy zahrnuty do modelu jako vysvětlující proměnné. V matematickém modelu, který je výstupem této disertační práce, jsou na rozdíl od článku Antonové (Antonová et al., 2016) použita data ze systému pro automatické sčítání cyklistické dopravy. Antonová (Antonová et al., 2016) hodnotí pouze existenci vzájemné závislosti dvou jevů, nikoli elasticitu a podobu vztahu mezi oběma veličinami (například o kolik se zvýší intenzita CD při nárůstu teploty vzduchu o 1 °C).

Kromě článku (Antonová et al., 2016), který však používá metody nevhodné pro účely této disertační práce, nebyl v ČR zatím realizován výzkum zabývající se vztahem mezi klimatem či počasím a dopravním chováním. Nebyl realizován ani specifický výzkum zkoumající vlivy počasí na CD. Existují pouze práce zaměřené na další faktory ovlivňující

dopravní chování (například existence dopravní infrastruktury, socioekonomické charakteristiky, vybavenost statky dlouhodobé spotřeby související s dopravním chováním apod.) (viz Brůhová-Foltýnová et. al., 2008).

V ČR jsou stále více dostupná data ze zařízení pro automatické sledování dopravních proudů, což platí i pro CD (Jirsa et al., 2015). Údaje ze systémů pro automatické kontinuální sčítání CD lze použít pro hodnocení trendů ve využití CD. Další přenosné systémy pro automatické sčítání CD, které lze přemístit mezi jednotlivými lokalitami, lze využít k určení významu určité lokality pro CD, nebo jako podklad pro technický návrh infrastruktury pro CD. Při krátkodobých měřeních je však nezbytné zohlednit další faktory, které počty cyklistů v průběhu měření ovlivňují (zejména faktory času).

Jedinou metodu pro zohlednění časových faktorů (roční období, den v týdnu a čas) obsahují TP 189 - Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích (Bartoš, 2012). Jak uvádí Martolos (Martolos, 2012) jejich hlavním cílem je umožnit stanovení návrhových intenzit dopravy na základě krátkodobých měření. Pro jednotlivé kategorie vozidel jsou uvedeny koeficienty pro zohlednění měsíce, dne v týdnu a denní doby, ve které sčítání probíhalo. U silnic II. a III. třídy je dále zohledněn také charakter provozu. Dle vztahu 3 se určuje se takzvaný nedělní faktor (f_{NE}):

$$f_{NE} = \frac{I_{NE,16-20}}{I_{BPD,13-17}} \quad [-] \quad (3)$$

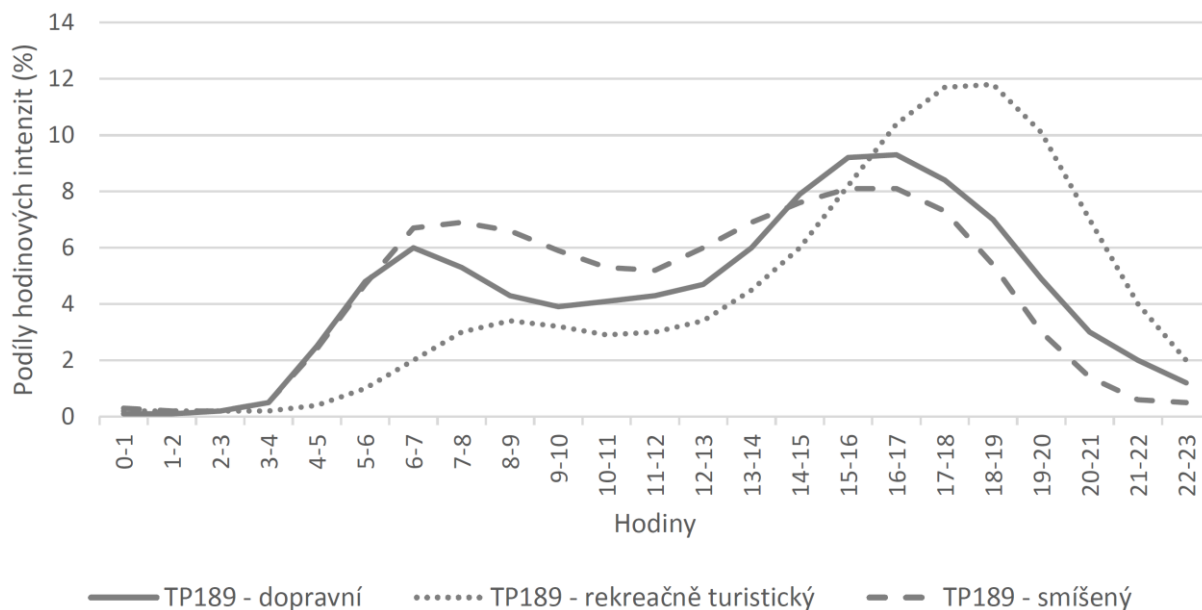
kde: f_{NE} ... nedělní faktor [-],

$I_{NE,16-20}$... intenzity dopravy v neděli v době od 16:00 do 20:00 [voz/4h],

$I_{BPD,13-17}$... intenzity dopravy v běžný pracovní den v době od 13:00 do 17:00 [vozidel za 4 hodiny].

Jedná se o poměr intenzity dopravy v neděli v době od 16:00 - 20:00 $I_{NE,16-20}$ [voz/4h] a intenzity dopravy v běžný pracovní den v době od 13:00 do 17:00 $I_{NE,16-20}$ [voz/4h]. Na jeho základě se určuje poměr rekreačního, smíšeného a hospodářského charakteru provozu.

Pro cyklistickou dopravu je však celý postup výpočtu v TP 189 (Bartoš, 2012) podstatně zjednodušen. Z časových hledisek je zohledněno pouze období dne. Charakter provozu je zohledněn rozdělením provozu do třech kategorií: dopravní, rekreačně turistický a smíšený. Graf na obrázku 1 znázorňuje předpokládané podíly hodinových intenzit na denní intenzitě dle TP 189 pro jednotlivé kategorie.



Obrázek 1 Variace hodinových intenzit cyklistické dopravy (Bartoš, 2012; autor s využitím MS Excel)

Nicméně není uvedeno, jakým způsobem kategorii pro konkrétní profil exaktně určit. Vliv povětrnostních podmínek není v metodice zohledněn. Technické podmínky (TP 189) pouze doporučují provádět sčítání cyklistické dopravy v příznivých povětrnostních podmínkách. S ohledem na tyto závěry je třeba konstatovat, že jediná v ČR dostupná metodika pro sčítání cyklistické dopravy TP 189 (Bartoš, 2012) není dostačující. Jako ovlivňující faktory je třeba do analýzy zahrnout další veličiny času (měsíc, den v týdnu) a zpřesnit způsob určení charakteru provozu. Je třeba také ověřit správnost koeficientů, které jsou v TP 189 (Bartoš, 2012) uvedeny a zhodnotit možnosti jejich zobecnění na různé sčítací profily. Je třeba zahrnout také parametry počasí, jako jsou například teplota, srážkové úhrny, oblačnost nebo sněhová pokrývka. Tvorba doporučení pro zohlednění dalších faktorů při vyhodnocení monitoringu cyklistické dopravy je vedlejším cílem této disertační práce. Matematický model v disertační práci bude zohledňovat také charakter provozu. Tento faktor bude určen na základě variací intenzit v čase obdobně jako v TP 189 (Bartoš, 2012).

Analýzou současného stavu v ČR v oblasti řešené problematiky nebyly získány informace o aktuálních metodách a konkrétních výstupech, ze kterých by mohl autor v disertační práci vycházet. Ty jsou popsány převážně v rámci analýzy stavu v zahraničí v následující podkapitole 1.3). Analýza současného stavu v ČR však pomohla správně určit cíle a výstupy disertační práce tak, aby dosavadní poznatky v rámci ČR rozvíjely, ale zároveň odpovídaly na potřeby praxe.

1.3 Analýza současného stavu v zahraničí

Analýza současného stavu řešené problematiky v zahraničí je z pohledu disertační práce důležitá, neboť v zahraničí byly publikovány práce, na jejichž výstupy a použité metody bude disertační práce přímo navazovat.

Byla publikována řada studií zabývajících se problematikou vztahu počasí a dopravních proudů CD (Lewin, 2011; Rose et al. 2011; Thomas et al., 2012). Jedná se o studie, které využívaly převážně data o počtech cyklistů agregovaná za 24 hodin. Další studie využívají data agregovaná za 1 hodinu (e.g. Gallop et al., 2012; Miranda-Moreno a Nosal, 2011, 2014).

Studie, které vycházely z dat z více měst dochází k závěru, že cyklisté v různých městech vykazují rozdílnou citlivost k povětrnostním vlivům (Rose et al., 2011; Miranda-Moreno et al., 2014).

Zatímco některé studie nerozdělují lokality, ve kterých dochází ke sledování dopravních proudů CD dle charakteru provozu (Nankervis, M., 1999a), jiné studie rozdělují jednotlivé lokality na lokality s převládajícím rekreačním či užitárním charakterem provozu (Brandenburg et al., 2007; Hanson a Hanson, 1977; Thomas et al., 2012). Autoři těchto studií docházejí k závěru, že rekreační cyklisté reagují významněji na změny počasí než cyklisté užitární, kteří nemohou své cesty jednoduše zrušit. V jedné ze studií (Miranda-Moreno et al., 2011) byl dále odděleně hodnocen vliv počasí na intenzity CD v pracovní dny a o víkendech. Autoři dochází k závěru, že faktory počasí ovlivňují intenzity CD více o víkendech než ve všední dny. Důvodem je zřejmě opět větší podíl nevyhnutelných cest v průběhu pracovního týdne. V další studii dokazuje Miranda-Moreno et al. (2014), že lokality s čistě užitárním nebo rekreačním využitím prakticky neexistují. U lokality v zastavěných oblastech převládá užitární CD v pracovních dnech, zatímco mimo pracovní dny je charakter provozu smíšený – užitární s rekreačním. Výjimku tvoří pozemní komunikace propojující zastavěné oblasti s rekreačními oblastmi.

Uvedené zahraniční studie (e.g. Gallop a Tse, 2012, Thomas et al., 2012, Miranda-Moreno et al., 2011, 2014) zahrnují různé povětrnostní vlivy mezi vysvětlující proměnné: teplotu, srážky, vlhkost vzduchu, rychlost větru, oblačnost, tlak, délku slunečního svitu, rosný bod apod. Pouze v jedné studii byl použit teplotní index, pro vyjádření pocitové teploty (Brandenburg et al., 2007).

Nejvýznamnějším povětrnostním vlivem, ovlivňujícím dopravní proudy CD je dle většiny studií teplota (e.g. Moreno a Nosal, 2011, 2014). Obecně lze říci, že s rostoucí teplotou vzduchu roste počet cyklistů. Nárůst teploty vzduchu o 1 °C vede k růstu intenzit CD nepřesahujících 5 % (Tin-Tin et al., 2012). Některé studie uzavírají, že závislost mezi teplotou

a CD je lineární (Tin-Tin et al., 2012; Rose et al., 2011), jiní autoři dochází k závěru, že linearita platí pouze v určitém rozmezí teplot a že vysoké teploty mají na intenzity CD negativní vliv (Lewin, 2000; Miranda-Moreno a Nosal, 2011). Další autoři docházejí k závěru, že závislost teploty a intenzity CD je nelineárního charakteru (Richardson, 2000).

Druhou nejvýznamnější vysvětlující proměnnou jsou dle dostupných studií srážky (e.g. Gallop a Tse, 2012, Moreno a Nosal, 2011, 2014). Ty jsou do matematických modelů zahrnuty buď jako spojitá proměnná (trvání srážky, srážkový úhrn) (Thomas et al., 2012) nebo nominální proměnná (Moreno a Nosal, 2014). Různé studie dochází k odlišným závěrům. Například Lewin (2011) zjistil, že výskyt srážky během dne snižuje denní intenzitu o 10 % ročního průměru denních intenzit. Tin Tin et al. (2012) dochází k závěru, že srážkový úhrn 1 mm za den snižuje denní intenzitu CD o 1,5 %, zatímco srážkový úhrn 1 mm za hodinu snižuje hodinovou intenzitu CD o 10,6 %. Gallop a Tse (2012) zjistili, že déšť v předcházejících 3 hodinách, může být pro intenzity cyklistické dopravy stejně významný, jako déšť v aktuální hodinu. To potvrzuje také další studie, ve které byl navíc zjištěn vliv srážek v ranních hodinách na intenzity CD v odpoledních hodinách (Miranda-Moreno and Nosal, 2011, 2014).

V této podkapitole disertační práce jsou dále detailně analyzovány 2 studie, které byly autorem práce vyhodnoceny jako nejvíce relevantní a aktuální. Jedná se o práce, ze kterých budou metody použité v disertační práci přímo vycházet a s jejichž výstupy budou výstupy disertační práce srovnatelné. Jednotlivým zahraničním pracím bude vždy vymezena vlastní část. Popsána a okomentována budou vždy postupně vstupní data, použité metody, a základní výstupy.

1.1.4. Nizozemí – města Gouda a Ede

Thomas et. al. (2012) ve své studii vychází ze systému pro automatické sčítání CD. Údaje jsou získány celkem z 16 sčítacích profilů v průběhu let 1987 až 2012. Získané intenzity cyklistické dopravy jsou agregovány za 24 hodin. Data o počasí jsou rovněž agregována za 24 hodin, což znemožňuje zohlednit vliv počasí pro konkrétní denní dobu. Jako příklad lze uvést ranní hodiny (např. mezi šestou a desátou hodinou), kdy někteří uživatelé volí preferovaný dopravní prostředek pro zbytek dne. Naproti tomu u lokalit s převládajícím rekreačním charakterem provozu nemusí být denní doba rozhodující. Data o počasí byla pořízena v meteorologických stanicích vzdálených od některých sčítacích profilů až 35 km.

Rovnice 4 je zjednodušeným popisem užitého regresního modelu, kde q_0 je konstantou standardizovaného proudu, tedy proudem oproštěným od vlivů počasí, W je konstrukt počasí s příslušným regresním koeficientem b .

$$\ln q_{est} = \ln q_0 + bW \quad [-] \quad (4)$$

kde: q_{est} ... odhadovaný proud [-],
 q_0 ... konstanta standardizovaného proudu [-],
 b ... regresní koeficient [-],
 W ... konstrukt počasí [-].

Konstrukt počasí W lze dále vyjádřit jako lineární kombinaci normalizovaných faktorů počasí dle rovnice 5:

$$W = a_1 \cdot W_1 + \dots + a_n \cdot W_n \quad [-] \quad (5)$$

kde: W_i ... normalizovaný faktor počasí [-],
 a_i ... koeficient počasí [-],

Autoři (Thomas et. al., 2012) dále upozorňují, že některé skryté vysvětlující proměnné mohou korelovat s faktory počasí a ty mohou být v důsledku toho nadhodnoceny. Autoři této studie dále uvádí, že analýza by mohla být zpřesněna zahrnutím parametrů cest, jako je například charakter provozu. Ten je pro účely studie určen na základě znalosti lokalit pouze zjednodušeně. Jsou určeny 3 typy lokalit na základě charakteru provozu (užitá, smíšená a rekreační). Pro každý typ lokality je následně zpracován samostatný model. Jedním z výstupů studie je hodnocení trendů pro jednotlivé charaktery provozu. Studie ukazuje, že při odstínění vlivu počasí, dochází k poklesu cyklistické dopravy v lokalitách s převládajícím rekreačním charakterem provozu. Ve sledovaném období byl však tento pokles kompenzován příznivým počasím.

Autoři studie dochází k závěru, že 80 % celkových variací lze přisoudit vlivu změn počasí (jedná se pouze o krátkodobé variace). Zbýlých 20 % variací je pak údajně ze 70 % vysvětleno lokálními vlivy, přičemž tyto lokální vlivy nejsou blíže popsány.

1.1.5. *Canada, USA – města Montreal, Ottawa, Vancouver, Portland a Quebec*

Nosal a Miranda-Moreno (2014) využívají ve své studii údaje ze systému pro automatické sčítání cyklistické dopravy, který zahrnuje 14 různých sčítacích lokalit v různých městech USA a Canady. Charakter provozu byl autory studie v 11 lokalitách vyhodnocen jako převládající užitá, ve 3 lokalitách jako převládající rekreační. Údaje jsou agregovány po hodinách i po dnech. Data jsou dostupná v závislosti na lokalitě za 1 až 3 roky sčítání. V některých lokalitách byla dostupná data pouze za určité období. Ze vzorku dat byly vyřazeny zimní měsíce (prosinec–březen), dále byly odstraněny chybějící údaje a další chybné hodnoty.

Data o počasí byla získána z národních meteorologických stanic, které se nacházely ve vzdálenosti 2-6 km od sčítacích lokalit. Tabulky intenzit cyklistické dopravy byly propojeny s tabulkami dat o počasí na základě data a času.

Regresní model je popsán následující rovnicí 6:

$$\ln(N_{k,h,d,m,y}) = \alpha + \beta X_{k,h,d,m,y} + \nu W_{k,h,d,m,y} + \gamma_k + \delta_h + \eta_d + \lambda_m + \varphi_y + \omega_{k,h,d,m,y} \quad [-] \quad (6)$$

kde:

$N_{k,h,d,m,y}$... počet cyklistů, kteří projeli lokalitou k v hodinu h, v den týdne d, měsíc m a rok y [-],
$X_{k,h,d,m,y}$... vysvětlující proměnné (spojité i nominální) reprezentující povětrnostní vlivy [-],
$W_{k,h,d,m,y}$... vysvětlující proměnné reprezentující povětrnostní vlivy v předcházejícím období [-],
$\gamma_k, \delta_h, \eta_d, \lambda_m, \varphi_y$... parametry pro lokalitu k, hodinu h, den týdne d, měsíc m a rok y [-],
$\omega_{k,h,d,m,y}$... chybová složka [-],
α, β, γ	... regresní koeficienty [-].

S ohledem na užití logaritmu počtu cyklistů byly ve vzorku dat nahrazeny nulové hodnoty počtů cyklistů jedničkou. Povětrnostní vlivy byly do modelu zařazeny jako spojité i nominální proměnné. Spojité proměnné byly testovány rovněž jako polynomy druhého řádu za účelem podchycení nelineárních závislostí. Příkladem je zařazení vysvětlující proměnné druhé mocniny teploty vzduchu. Za účelem správné specifikace modelu bylo využito Akaikeho informačního kritéria (AIC) které je popsáno následující rovnicí 7:

$$AIC = 2K - 2\ln(L) \quad [-] \quad (7)$$

kde:

AIC	... Akaikeho informační kritérium [-],
K	... počet parametrů modelu [-],
L	... hodnota maximální věrohodnosti kalibrovaného modelu [-].

Hodnota AIC odráží míru shody modelu s ohledem na počet zohledněných parametrů a míru přeurenění modelu. Preferován je model s nejnižší hodnotou AIC.

Dále byly vyhodnoceny korelační koeficienty mezi jednotlivými vysvětlujícími proměnnými. Pokud byl korelační koeficient v páru vysvětlujících proměnných vyšší než 0,5, byla ponechána pouze vysvětlující proměnná, která vykazovala vyšší korelační koeficient

s vysvětlovanou proměnnou. Regresního model byl dále zpřesněn pomocí ARMA parametrů autokorelace a klouzavých součtů.

Autoři dochází k závěru, že teplota, vlhkost vzduchu a srážky vedle faktorů, které definují čas a geografickou mohou být použity k modelování intenzit cyklistické dopravy. Autoři uvádějí, že významný vliv má teplota, ale také její druhá mocnina a potvrzují tak závislost nelineárního charakteru. Dle autorů vlhkost vzduchu ovlivňuje negativně intenzity cyklistické dopravy a u některých lokalit byla potvrzena rovněž závislost na její druhé mocnině. Dle autorů mají negativní vliv na cyklistickou dopravu také srážky, přičemž hraje roli jejich intenzita. Autoři potvrzují vliv srážek v ranních hodinách na cesty realizované ve zbytku dne. Ten je však méně významný u lokalit s převládajícím rekreačním charakterem provozu. Autoři potvrzují vliv výskytu srážek ve třech hodinách předcházejících času cesty.

1.4 Využití poznatků vyplývajících z analýzy současného stavu v disertační práci

V podkapitole 1.3 jsou uvedeny poznatky ze zahraničních vědeckých prací, na které je možné v rámci řešení disertační práce navázat. Pro exaktní popis vztahu CD a počasí vychází disertační práce z údajů ze systémů pro automatické sčítání CD. Dle provedené analýzy autor stanovil následující problémy k řešení a možnosti dalšího výzkumu následovně:

1. použití neagregovaných dat jak pro faktory počasí, tak pro údaje o dopravních proudech,
2. zpřesnění přiřazení parametrů počasí příslušné cestě (vzdálenost meteorologické stanice, čas začátku cesty),
3. zohlednění nejen aktuálního počasí, ale také změny počasí ve vztahu k předcházejícímu období,
4. zohlednění nelineárních závislostí vysvětlovaných veličin na regresorech,
5. zjištění a zahrnutí charakteru provozu jako vysvětlující faktor.

Pro popis vztahu počasí a cyklistické dopravy byly v dosavadních studiích použity různé druhy parametrických modelů jako například:

1. lineární a log-lineární regresní modely,
2. binární a multinomiální LOGIT,
3. TOBIT,
4. autoregresní model s použitím ARMA.

Zatím nebyly použity neparametrické metody, jako jsou například neuronové sítě (NN), které mají oproti parametrickým zřejmě výhody v oblasti modelování komplexních vztahů

velkého množství proměnných, modelování skrytých a nelineárních závislosti (podkapitola 3.2). Přínosem pro mezinárodní vědeckou komunitu je právě využití metod umělé inteligence při tvorbě matematického modelu závislosti intenzit CD na počasí v této disertační práci.

2 Cíl disertační práce

V této kapitole je vysloven hlavní cíl práce, dále jsou uvedeny jednotlivé kroky vedoucí k jeho dosažení (dílní cíle). V podkapitolách 2.1 a 2.2 je postupně popsán hlavní cíl práce a kroky vedoucí k jeho dosažení. V podkapitole 2.3 jsou shrnuty další výstupy, které byly v průběhu zpracování disertační práce vytvořeny pro účely řešení konkrétních z praxe vyplývajících úloh.

2.1 Cíl práce

Hlavním cílem práce je:

Návrh matematického modelu závislosti intenzit cyklistické dopravy na počasí, krátkodobých faktorech a charakteru provozu cyklistické dopravy.

Hlavní cíl práce vychází z analýzy současného stavu v ČR (viz kapitola 1.2) a v zahraničí (viz kapitola 1.3). Proto není předmětem zkoumání cyklistická doprava obecně, vyjádřená například pomocí pravděpodobnosti volby cyklistické dopravy pro danou cestu, ale konkrétně intenzity dopravních proudů cyklistů.

Cíl práce, mezi řadou krátkodobých ovlivňujících faktorů, výslovně uvádí skupinu parametrů počasí. Důvodem je to, že tyto parametry nebyly zatím v rámci ČR při zkoumání variací intenzit cyklistické dopravy zohledněny, přestože je prokazatelně ovlivňují.

2.2 Kroky vedoucí k naplnění cíle

V této podkapitole jsou popsány kroky, jejichž postupné plnění vedlo k naplnění hlavního cíle práce.

a. Sběr dat ze systémů pro automatické sčítání cyklistické dopravy:

Rozsah vzorku, vyjádřený počtem zaznamenaných průjezdů cyklistů sčítacími profily, ovlivňuje spolehlivost modelu. Výběr dat pro tvorbu modelu byl proveden s ohledem na velikost vzorku. Rozsah vzorku se odvíjí od doby, po kterou docházelo k záznamu, a od samotné intenzity dopravního proudu cyklistů.

Data byla sebrána ze systému pro automatické sčítání cyklistické dopravy v Praze, kde jsou sčítací zařízení nainstalována v 23 průjezdních profilech, z nichž 6 je v provozu již více než 5 let. Jedná se o nejrozsáhlejší systém v ČR, který je zároveň provozován nejdéle. Parametry modelu byly zjištěny zároveň pro profily ze systému pro automatické sčítání cyklistické dopravy v Pardubicích, kde probíhalo sčítání za pomoci 3 sčítacích modulů v celkem 11 průjezdních profilech po dobu 2 let.

V obou případech se jedná o veřejně dostupná data.

b. Úprava dat:

Byly identifikovány chyby v datech vyplývající z výpadků, nebo z dočasného omezení správné funkce sčítacích zařízení. Zejména byly prověřeny všechny nulové hodnoty.

c. Statistická analýza dat:

Byl vytvořen přehled parametrů získaného vzorku: rozsah, chybovost, popisné statistiky. Byly vyhodnoceny denní, týdenní, sezónní a roční variace intenzit. Variace byly zobrazeny také graficky.

d. Analýza nestandardních krátkodobých a dlouhodobých variací:

Byla prověřena souvislost neočekávaných krátkodobých variací intenzit cyklistické dopravy s krátkodobými změnami v dopravním systému, jako jsou například krátkodobé uzavírky (sportovní akce, povodně, výluky veřejné dopravy). Obdobně byl prověřen vztah mezi nestandardními dlouhodobými variacemi a dlouhodobými změnami v dopravním systému, jako jsou například rekonstrukce komunikací nebo budování nové infrastruktury. Údaje byly následně ze vzorku buď vyřazeny, nebo zohledněny pomocí nominální proměnné.

e. Určení charakteru provozu v jednotlivých sčítacích profilech:

Byla vytvořena matematická metoda pro určení charakteru provozu na základě variací hodinových intenzit. Ke každému profilu byl přiřazen charakter provozu, vyjádřený jako procentuální zastoupení užitární a volnočasové (rekreační) cyklistické dopravy.

f. Tvorba matematického modelu:

Byly určeny vysvětlující proměnné. Slovně i graficky byla popsána struktura navrženého modelu a jeho matematické vyjádření. Model byl realizován ve specializovaném softwarovém (SW) prostředí. Použitý SW je popsán v podkapitole 3.5 Byly vypočteny parametry modelu, kterými jsou charakteristiky NN (viz část 4.6.2) a byl vytvořen zobecněný lineární/nelineární model (viz část 4.6.3). Pro účely tvorby modelu byl vzorek dat rozdělen na trénovací, testovací a validační část na základě prostého náhodného výběru.

g. Hodnocení modelu:

V analýze reziduí byla vyhodnocena spolehlivost modelu. Byly určeny limity použitelnosti modelu a možnosti jeho zobecnění. Byly porovnány parametry modelu pro různé sčítací profily a mezi městy Praha a Pardubice.

h. Určení přínosu práce pro vědeckou komunitu a praxi:

Posledním krokem bylo shrnutí získaných poznatků v oblasti tématu disertační práce a shrnutí možných aplikací těchto poznatků v praxi dopravního plánování. Součástí tohoto kroku je i vytyčení dalších výzkumných úkolů a problémů k řešení.

2.3 Další cíle disertační práce

Vedlejší cíle disertační práce, nebo také výstupy, které nejsou klíčové pro dosažení hlavního cíle, ale jejich význam spočívá v možnosti aplikace v praxi, jsou tyto:

a. Návrh metody kalibrace sčítacích zařízení:

Byla navržena matematická metoda pro určení spolehlivosti kalibrace sčítacích zařízení, které běžně vykazují systematickou chybu.

b. Návrh metody pro určení charakteru provozu na základě hodinových variací

Byla navržena matematická metoda pro určení charakteru provozu CD.

3 PŘEHLED ZVOLENÝCH METOD ZPRACOVÁNÍ

V této kapitole jsou popsány čtyři základní metody, které byly použity při řešení disertační práce. Je to statistická analýza dat, neuronové sítě, obecný lineární / nelineární model a lineární programování. Jednotlivé metody jsou postupně obecně popsány, je uveden způsob jejich užití pro řešení problému a případně také důvody, na jejichž základně byly upřednostněny před alternativními metodami.

3.1 Statistická analýza dat

Součástí statistické analýzy dat je čištění, organizace a syntéza dat, průzkumová analýza a hodnocení trendů. Cílem analýzy je získat povědomí o charakteru dat (velikost vzorku, chybovost, rozptylové charakteristiky atd.) a o variacích dat zejména v závislosti na čase. Statistická analýza dat byla využita také pro hodnocení dosažených výsledků v analýze reziduí.

3.2 Neuronové sítě

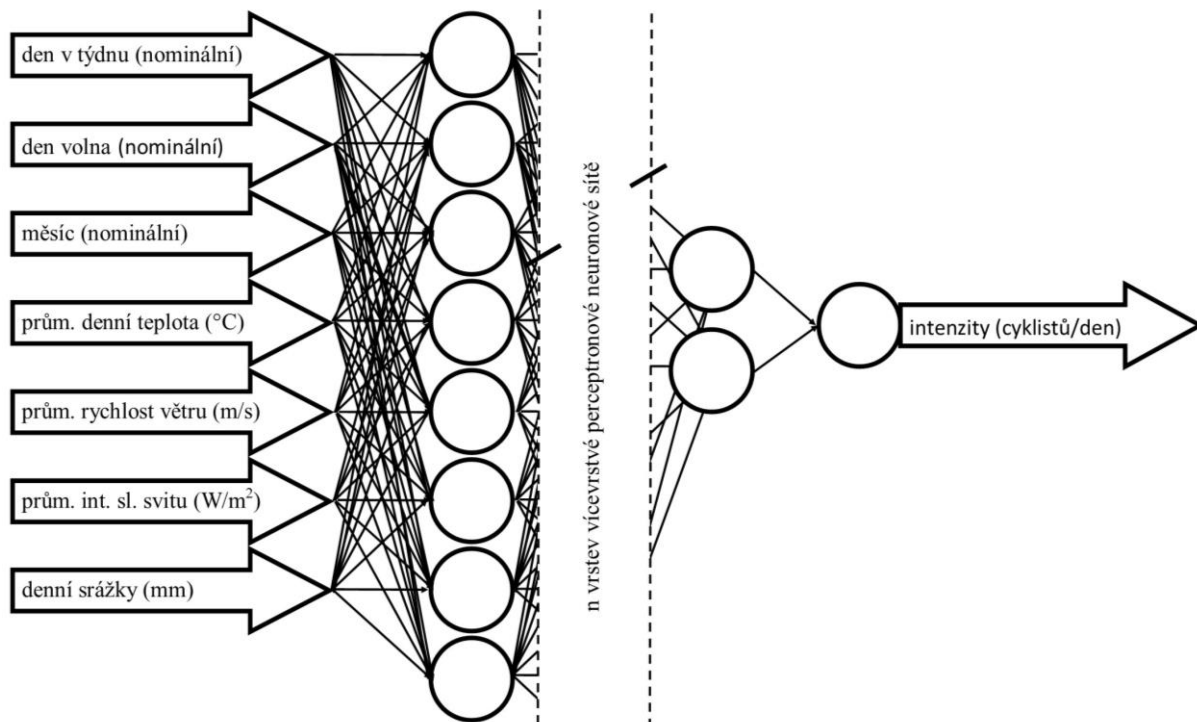
Matematické modely spadající do kategorie umělé inteligence označované jako neuronové sítě vychází z principu činnosti lidského mozku. Buňky mozku zvané neurony jsou vzájemně propojeny a komunikují spolu pomocí elektrických impulzů. Předmětem tvorby neuronových sítí je napodobování chování neuronů pomocí různých algoritmů. Ty jsou následně použity k řešení analytických a rozhodovacích problémů v řadě oborů lidské činnosti. Mají řadu výhod ve srovnání se standartními typy rozhodovacích algoritmů a mohou dosahovat extrémně dobré výsledky (StatSoft, 2015). Jedná se například o tyto vlastnosti:

- schopnost detekce komplexních vztahů mezi veličinami,
- schopnost pracovat s komplikovanými, nepřesnými daty i při výskytu šumů,
- vhodné pro klasifikaci, regresi, časové řady, shlukovou analýzu,
- možnost řešení bez apriorní znalosti příčin variability konkrétní proměnné,
- schopnost řešení nelineárních úloh,
- schopnost zevšeobecnění získaných poznatků.

Základními stavebními prvky neuronové sítě jsou neurony tvořící síť. Jednotlivé neurony jsou vzájemně propojeny spoji, které jsou ohodnoceny vahami. Síť má schopnost váhy jednotlivých vazeb pomocí trénovacích vzorců v datech upravovat. Uvedený mechanismus se označuje, analogicky ke schopnostem živých bytostí, jako „učení se“. Síť zaznamenává kombinace vah jednotlivých propojení, které v minulosti, při kombinaci určitých vstupů, vedly

k určitým výstupům. U nových vstupů se síť obrací na svou „paměť“ a na základě zkušeností odhaduje hodnoty výstupů.

Příklad aplikace metody neuronových sítí na problematiku disertační práce ilustruje schéma na obrázku 2. V levé části schématu jsou zobrazeny vstupní proměnné, v pravé části výstupní proměnná. Vedle spojitých veličin mohou být zahrnuty také nominální proměnné, jako například informace o dnu v týdnu a dnech pracovního volna. Období roku je zohledněno uvedením příslušného měsíce.



Obrázek 2 Schéma aplikace neuronové sítě na problematiku disertační práce (autor s využitím MS Publisher)

Pro hledání faktorů ovlivňujících intenzity cyklistické dopravy, jsou neuronové sítě vhodným nástrojem. Pomocí běžných statistických metod, jako je například lineární regrese, nelze vystihnout například míru spolupůsobení jednotlivých faktorů, s obtížemi lze postihnout nelineární závislosti (například podíl cyklistů v závislosti na denních srážkových úhrnech), a řadu problémů způsobí také odlehlé hodnoty a nežádoucí šumy.

Neuronové sítě jsou vhodným nástrojem pro modelování závislosti intenzit cyklistické dopravy na počasí a dalších vlivech a v disertační práci byla metoda použita jako hlavní metoda pro modelování. Pro řešení problému v oblasti tématu disertační práce nebyla zatím metoda neuronových sítí použita.

3.3 Obecný lineární / nelineární model

Lineární regrese je jedna z nejčastěji používaných statistických metod. Jejím cílem je popis vzájemné závislosti dvou a více veličin (tzv. regresandů na regresorech). Závislost veličin je v případě obecné lineární regrese vyjádřena jako lineární kombinace více libovolných funkcí. Je zachována linearita regresních koeficientů. Ty jsou vypočteny metodou nejmenších čtverců tak, aby součet druhých mocnin odchylek modelu od pozorování byl minimální.

Lineární regrese již byla v předchozích studiích (Thomas et. al., 2012, Miranda-Moreno and Nosal, 2011, 2014, Nankervis, 1999, atd.) pro řešení vztahu počasí a cyklistické dopravy použita. V rámci disertační práce byla použit zobecněný lineární / nelineární model. Ten je zobecněním lineární regrese, umožňuje popis vztahu více proměnných včetně proměnných kategorických a podchycení nelineárních závislostí. Výstupy obou modelů, jak modelu založeném na hlavní modelovací metodě neuronových sítí, tak zobecněný lineární/nelineární model, byly statisticky vyhodnoceny a vzájemně porovnány.

3.4 Lineární programování

Toto odvětví operační analýzy je obecně užíváno k hledání minima (respektive maxima) lineární funkce více proměnných na množině popsané soustavou lineárních nerovností. V rámci disertační práce byla tato metoda použita pro odhad charakteru provozu cyklistické dopravy na základě denních variací intenzit cyklistické dopravy.

3.5 SW nástroje pro řešení disertační práce

Metody uvedené v kapitole 3 jsou obsaženy v řadě softwarových nástrojů. Pro účely disertační práce byly použity zejména následující softwarové nástroje:

- **Statistica** je analytický software obsahující prostředky pro správu dat, jejich analýzu, vizualizaci a vývoj uživatelských aplikací. Statistica posloužila jako hlavní nástroj pro tvorbu modelu neuronových sítí, regresního modelu a statistickou analýzu dat.
- **R Studio** je programovací jazyk a prostředí pro statistické výpočty a grafiku. V rámci práce bylo R Studio využito pro redukci, organizaci, syntézu dat a pro operace a statistické výpočty, které nepodporuje program Statistica.
- **MS Excel** byl využit pro finální úpravu tabulek a grafických výstupů. Jeho Nástroj řešitel byl použit pro nalezení řešení optimalizační úlohy.
- **Quantum GIS** byl využit pro editaci a přípravu mapových podkladů.

4 NÁVRH MATEMATICKÉHO MODELU ZÁVISLOSTI INTENZIT CYKLISTICKÉ DOPRAVY NA POČASÍ

V této kapitole je v podkapitolách 4.1 až 4.5 postupně popsán sběr, úprava a analýza dostupných dat. Následně je v podkapitolách 4.5 až 4.6 popsán postup tvorby a hodnocení výstupů matematického modelu závislosti intenzit CD na počasí.

4.1 Sběr dat ze systémů pro automatické sčítání cyklistické dopravy

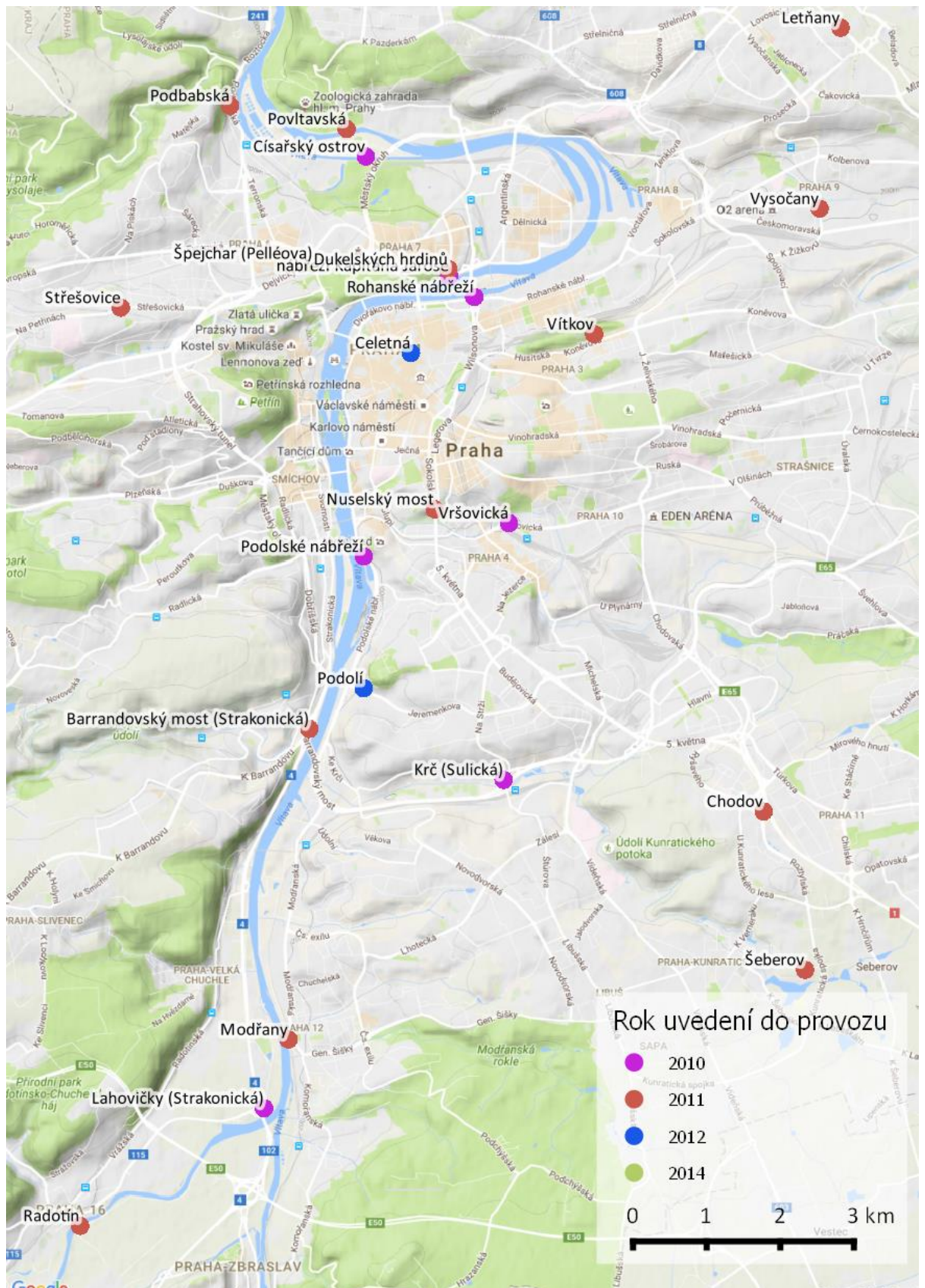
Data o intenzitách CD byla získána ze systémů pro automatické sčítání CD v Praze a v Pardubicích. Co do období sběru dat a počtu sčítacích profilů je soubor dat získaný v Praze rozsáhlejší – v Praze je hodnoceno 5 let provozu, v Pardubicích potom 2 roky. Průměrné roční intenzity cyklistické dopravy jsou však vyšší v Pardubicích (průměrně cca 3x vyšší). Pro účely disertační práce byla analyzována data vždy od počátku sběru dat v příslušném profilu do 31. 12. 2015.

V hlavním městě Praze bylo v roce 2010 osazeno prvních 7 profilů zařízení pro automatické sčítání cyklistické dopravy (viz mapu na obr. č. 3). V následujícím roce byly doplněny sčítače v dalších 13 profilech. V roce 2012 přibyly další 2 lokality a v roce 2014 poslední lokalita. V době vyhodnocení dat (do 31. 12. 2015) bylo tedy osazeno již celkem 23 sčítacích profilů.

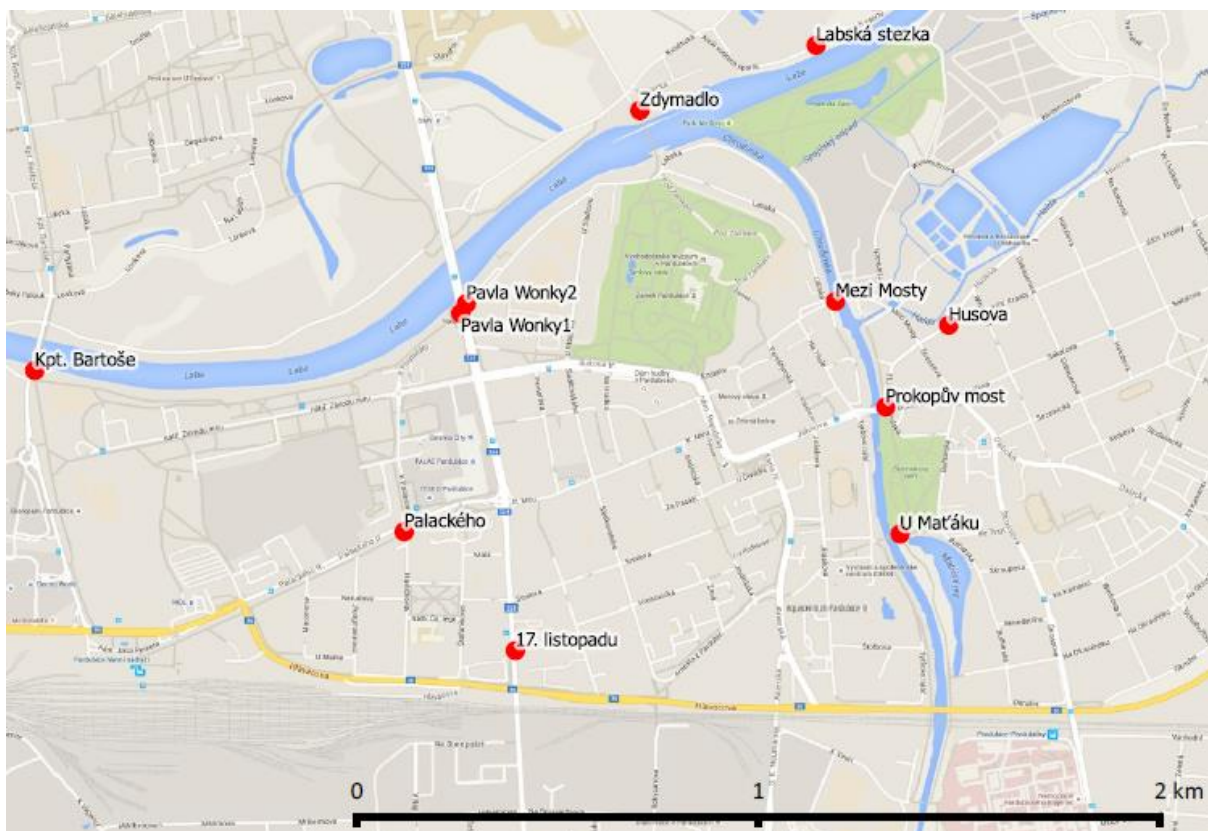
K dispozici jsou tedy údaje za více než 5 let sčítání. V rámci ČR neexistuje jiný soubor dat obdobného rozsahu. Z mapy na obr. č. 3 je patrná snaha o umístění sčítačů v hlavních směrech poptávky cyklistické dopravy. Sčítače jsou umístěny na páteřních trasách, sběrných komunikacích a v blízkosti míst překonání bariér (např. železniční trať, vodoteč apod.). Smyčky jsou instalovány jak v prostoru stezek pro cyklisty, tak v hlavním dopravním prostoru místních komunikací.

Obdobně byly voleny sčítací profily také v Pardubicích (viz obr. č. 4). V systému pro sčítání cyklistické dopravy v Pardubicích jsou ve třech profilech sledovány intenzity celý rok nepřetržitě. Jedná se o profily Pavla Wonky 1, U Maťáku a 17. listopadu. V ostatních profilech jsou data sbírána vždy pouze přechodně 2-4 měsíce v roce. Datové jednotky jsou přemístovány mezi jednotlivými sčítacími profily tak, aby bylo sledováno vždy stejné období roku. V přechodných sčítacích profilech tedy po většinu roku ke sčítání nedochází. V Pardubicích byl celý systém pro automatické sčítání CD uveden do provozu v září 2013. Přičemž do konce roku

2013 se jednalo o zkušební provoz. Pro účely této disertační práce jsou tedy použita data od 1. 1. 2014.

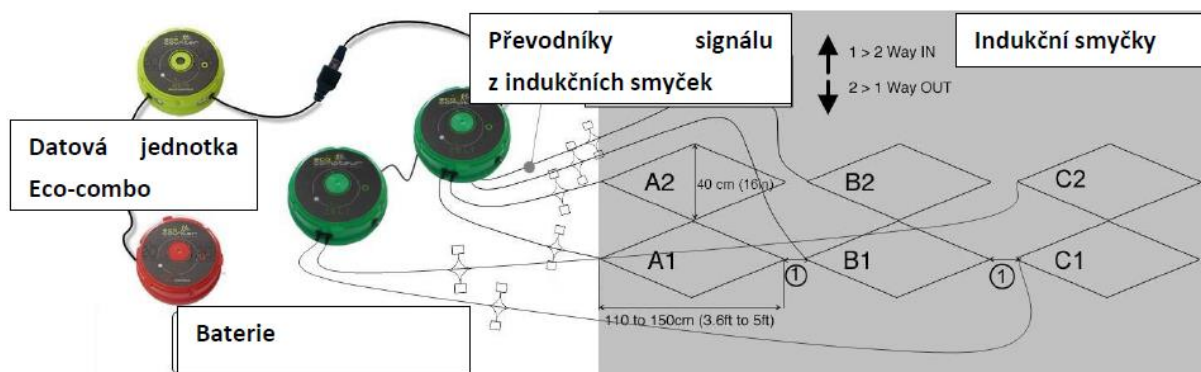


Obrázek 3 Mapa sítacích profilů v Praze. (autor, s použitím Q GIS)



Obrázek 4 Mapa sčítacích profilů v Pardubicích. (autor, s použitím Q GIS)

Technologie použitá v obou systémech (Praha i Pardubice) je stejná. Cyklisté jsou detekováni pomocí indukčních smyček (vodičů) umístěných pod, nebo v rámci krytu vozovky pozemní komunikace (viz schéma na obr. č. 5).



Obrázek 5 Schéma osazení indukčních smyček a jejich připojení k datovým jednotkám. (Kala, 2015)

Smyčky jsou napájeny elektrickou energií z baterie. V důsledku průjezdu cyklisty nad smyčkou dochází k poklesu její indukčnosti. Tyto změny jsou zaznamenány a následně vyhodnoceny datovou jednotkou, která je umístěna v zemi schránce, případně ve skřínce upevněné k prvkům mobiliáře, veřejnému osvětlení, mostní konstrukci apod. Datová jednotka je se smyčkami spojena kabelem (Jirsa et. al. 2015).

V pražském systému je přenos dat do webového uložení realizován automaticky a dálkově pomocí GSM přenosu. Data jsou pak veřejně přístupná na webové adrese: <https://unicam.camea.cz> (CAMEA, 2016). Pro zvolené období lze stáhnout data ve formátu CSV (hodnoty oddělené čárkami). Tabulky v souborech obsahují následující sloupce: datum čas, počet cyklistů v jednom směru, počet cyklistů v druhém směru, celkový počet cyklistů, průměrná teplota. K dispozici jsou hodinové intenzity cyklistické dopravy (viz tab. č. 10).

Tabulka 1 Ukázka formátu zdrojových dat ze systému pro automatické sčítání CD v Praze.

Datum čas	Počet - centrum	Počet - z centra	Celkový počet	Průměrná teplota
3.5.2015 9:00	32	83	115	10
3.5.2015 10:00	67	168	235	12
3.5.2015 11:00	123	208	331	15
3.5.2015 12:00	176	225	401	17
3.5.2015 13:00	179	211	390	18
3.5.2015 14:00	212	158	370	18

CAMEA, 2016, upraveno autorem

V pardubickém systému jsou data sbírána převážně manuálně, přímo z datových jednotek pomocí rozhraní Bluetooth a následně opět manuálně odeslána do webového uložení. Výjimku tvoří sčítací profil „Pavla Wonky 1“, ve kterém je realizován sběr dat pomocí GSM přenosu obdobně jako v Praze. V tomto profilu je instalováno zobrazovací zařízení, které umožňuje přímé sledování počtu cyklistů, kteří projeli profilem v daný den a rok. V Pardubicích není webová aplikace pro správu dat (Eco Counter, 2016) veřejně přístupná. Aplikace umožňuje volit různé struktury a formáty datových souborů pro stažení. Pro účely disertační práce byla zvolena obdobná struktura tabulky jako v Pražském systému. Obsah tabulek je stejný v Praze i v Pardubicích, pouze v Pardubicích nejsou k dispozici informace o průměrné teplotě v hodině záznamu, také pořadí sloupců a formát data a času se liší. Datové soubory byly autorem této práce nejprve sjednoceny pro účely algoritmicke následné úpravy a statistické analýzy.

4.2 Úprava dat

Tato podkapitola obsahuje popis úpravy formátu a třídění dat, které předcházely samotné tvorbě matematického modelu závislosti intenzit cyklistické dopravy na počasí a dalším analýzám.

4.2.1 Spolehlivost a kalibrace dat

Zařízení pro sčítání cyklistické dopravy měří s určitou chybou, která může být způsobena například průjezdem cyklisty mimo detekční pole smyčky, stylem jízdy cyklisty,

materiálem a stavbou kola, nebo rušivými vlivy elektromagnetického pole z blízkých zdrojů (např. vedení vysokého napětí, trolejová trakce apod.). Chyba měření má systematický charakter a lze ji kompenzovat pomocí kalibračního koeficientu (viz vzorec 11). Chybovost sčítáče je náhodnou veličinou a nevykazuje znaky pravidelnosti (chyba nenastane například u každého 10. cyklisty). Sčítací zařízení při průjezdu cyklisty buď nepřičte žádnou hodnotu, nebo přičte jednoho a více cyklistů. Sčítací zařízení jsou kalibrována na základě manuálních sčítání, u kterých lze předpokládat nulovou odchylku.

Cílem kalibračního sčítání je získat informaci o tom, kolik je průměrně započteno cyklistů při každém průjezdu. Následně je třeba určit, s jakou přesností byla tato průměrná hodnota zjištěna. Určuje se tzv. interval spolehlivosti, který vypovídá o tom, v jakém rozmezí by se průměrná hodnota pohybovala při dalších opakování kalibrace. Tzv. úroveň významnosti (obvykle se určuje na 95 % či 99 %) určuje, v kolika procentech dalších opakování kalibrace by průměrná hodnota spadala do příslušného intervalu spolehlivosti. Pro řešení byla využita matematická teorie pravděpodobnosti.

Při určení intervalu spolehlivosti se vychází z předpokladu, že hodnoty průměrných odchylek získaných opakováním náhodných výběrů o velikosti N se řídí normálním rozdělením pravděpodobnosti s parametry $\sigma_{\bar{x}}$ (směrodatná odchylka) a $\mu_{\bar{x}}$ (střední hodnota průměru odchylek). Jsou-li tyto parametry známy, je možno pomocí statistických tabulek, nebo například pomocí funkce NORM.INV v aplikaci MS Excel určit, v jakém rozmezí se bude průměrná odchylka pohybovat na dané úrovni významnosti.

Prvním krokem je provedení manuálního sčítání, při kterém je sledováno, kolik cyklistů zařízení zaznamenalo při každém jednotlivém průjezdu cyklisty z celkem N průjezdů. Pro tento náhodný výběr o velikosti N se vypočte výběrová směrodatná odchylka dle vzorce 8:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N - 1}} \quad [-] \quad (8)$$

kde:

- s ... směrodatná odchylka [-],
- x_i ... počet započtených cyklistů pro i -tý průjezd [-],
- μ ... průměrný počet započtených cyklistů při jednom průjezdu [-],
- N ... celkový počet průjezdů [-].

Dále je třeba odhadnout $\sigma_{\bar{x}}$ směrodatnou odchylku rozdělení průměrů při opakování náhodných výběrů dle vzorce 9:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{N}} \quad [-] \quad (9)$$

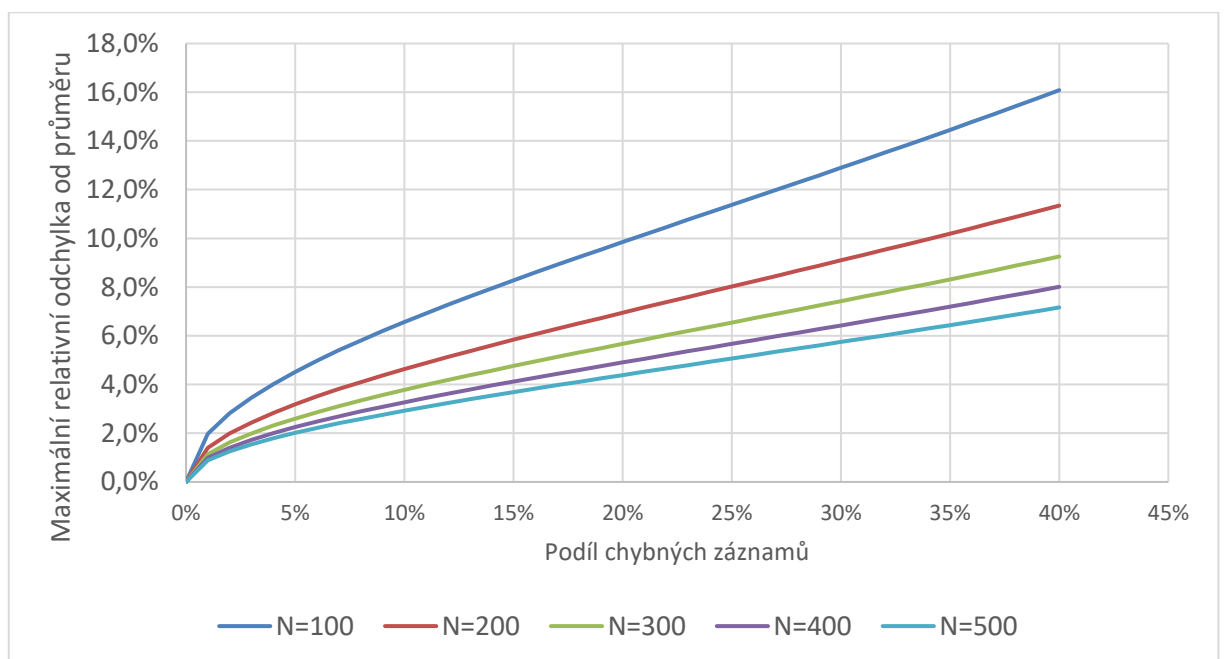
kde: $\sigma_{\bar{x}}$... směrodatná odchylka rozdělení průměrů náhodných výběrů [-],
 s ... směrodatná odchylka [-],
 N ... skutečný celkový počet průjezdů [-].

Nejlepším odhadem střední hodnoty průměrů odchylek je potom střední hodnota výběru (viz vzorec 10):

$$\mu_{\bar{x}} = \mu \quad [-] \quad (10)$$

kde: $\mu_{\bar{x}}$... střední hodnota průměrů odchylek [-],
 μ ... průměrný počet započtených cyklistů při jednom průjezdu [-],
 N ... skutečný celkový počet průjezdů [-].

Spolehlivost kalibračního sčítání tedy ovlivňuje frekvence chyb (jak často se chyba objeví) a druh chyb (kolik cyklistů při průjezdu sčítač započte). Nejčastější chyba spočívá v nezapočtení cyklisty při průjezdu sčítacím profilem. Graf na obr. č. 6. zobrazuje spolehlivost kalibrace (vyjádřenou jako maximální relativní odchylku od průměru) v závislosti na frekvenci této chyby (v kolika procentech průjezdů nedojde k započtení cyklisty). Jednotlivé křivky reprezentují různou velikost vzorku.



Obrázek 6 Maximální relativní odchylka od průměru v závislosti na podílu chybných záznamů na úrovni významnosti 95%, pro různou velikost vzorku. (autor, s použitím MS Excel)

Pro daný druh chyby (nezapočtení cyklisty) lze z grafu na obrázku č. 6 odečíst spolehlivost sčítání. Pokud při kalibračním sčítání dojde k nezapočtení cyklisty v 15 % případů, při velikost vzorku 100 cyklistů je spolehlivost sčítání $\pm 8,3$ %. Pokud je stejný údaj o frekvenci chyb získán ze vzorku o velikosti 500 cyklistů, je spolehlivost sčítání $\pm 3,7$ %. Obdobně lze postupovat i při výpočtu spolehlivosti sčítání pro jiné druhy chyb (například započítání dvou a více cyklistů) a jejich kombinace.

Získané údaje ze sčítacího zařízení jsou následně vynásobeny získaným kalibračním koeficientem dle vzorce 11, což je poměr mezi skutečným počtem průjezdů a celkovým počtem zařízení zaznamenaných průjezdů:

$$k = \frac{N}{N'} \quad [-] \quad (11)$$

kde: k ... kalibrační koeficient [-],
 N ... skutečný celkový počet průjezdů [-],
 N' ... celkový zařízením zaznamenaný počet průjezdů [-].

V Pardubicích bylo provedeno dodavatelem systému pro sčítání CD manuální kalibrační sčítání ve všech lokalitách. Sčítání probíhalo vždy ve dvou dnech (jeden všední den a jeden den víkendu) po dobu 8 hodin. Celkem tedy 16 hodin v každé lokalitě. Mezi chybné záznamy byly pro účely kalibrace zahrnuty také průjezdy cyklistů mimo sčítací zařízení (například po chodníku). Tím lze zdůvodnit vysoký podíl chybných záznamů (větší než 15 %) ve třech lokalitách 17. Listopadu, Husova a Prokopův most (viz tab. č. 2), kde část uživatelů volí jízdu po chodníku. V ostatních lokalitách je podíl chybných záznamů nižší a vzhledem k velikosti vzorku byla v těchto lokalitách odhadnuta autorem práce maximální relativní odchylka od průměru ± 4 % na úrovni významnosti 95%. Pro lokality, s vyšším podílem cyklistů, kteří projíždí mimo sčítací zařízení byla relativní odchylka odhadnuta na ± 10 %. Jedná se pouze o orientační odhad, jelikož v protokolu o kalibračním sčítání chybí detailní údaje o druhu chyb. Maximální odchylka od průměru byla odečtena z grafu na obr. 6, který uvažuje pouze jeden druh chyby.

Tabulka 2 Ukázka formátu zdrojových dat ze systému pro automatické sčítání CD v Praze.

Lokalita	kalibrační koef.	
	S/Z	J/V
Pardubice_17 Listopadu	1,31	1,21
Pardubice_Husova	1,86	1,44
Pardubice_Kpt Bartoše	1,09	1,12
Pardubice_Labská stezka	1,13	1,15
Pardubice_Mezi Mosty	0,97	1,14
Pardubice_most Wonky	1,04	0,95
Pardubice_Prokopův most	1,56	1,48
Pardubice_Totem most Wonky	1,11	1,13
Pardubice_U Matáku	1,03	0,93
Pardubice_Zdymadlo	1,03	1,04

Jirsa, 2016

V Praze nebylo kalibrační sčítání provedeno. Na základě údajů získaných z kalibračního sčítání v Pardubicích lze očekávat, že pro některé profily se budou naměřené intenzity lišit v řádech jednotek až desítek procent (viz tab. č. 2). Provedení manuálního sčítání na všech profilech v pražském systému je časově náročná činnost, která přesahuje rozsah této práce. Významné chyby v měření mohou být odhaleny neočekávanými variacemi intenzit cyklistické dopravy, které budou zkoumány v kapitole 4.4 – Statistická analýza dat. Za splnění předpokladu, že chyby sčítacích zařízení jsou systematické a s parametry počasí jsou vzájemně nezávislé jevy, není pro tvorbu matematického modelu závislosti intenzit cyklistické dopravy na počasí chyba ve sčítání určující.

4.2.2 Úprava formátu zdrojových dat a agregace dat

Formát zdrojových dat ze systému v Praze a v Pardubicích není jednotný. Dalším krokem úpravy, která navazuje na kalibraci, je uvedení dat do jednotného tvaru. Autor provedl úpravu v aplikaci RStudio (programovací jazyk a prostředí pro statistické výpočty a grafiku). Zdrojové soubory byly uloženy do dvou adresářů na základě příslušnosti do systému v Praze respektive v Pardubicích. Dále **byl pro každý adresář autorem naprogramován algoritmus**, který mění v jednotlivých souborech záhlaví, formát údajů a pořadí a počet sloupců. Nové soubory ve sjednoceném formátu jsou následně uloženy do společného adresáře. Ukázka algoritmu na úpravu formátu dat z pardubického systému je na obr. č. 7:

```
Dir="C://Users/Vojta/Desktop/wD1/Raw/Pardubice"
Dir2="C://Users/Vojta/Desktop/wD1/Bikecounts/"
ColumnRenameAllInDir=function(Dir){
  DirFiles=list.files(path = Dir,full.names = T)
  lapply(DirFiles,function(x){
    temp.read=read.csv2(file=x,header=T)
    temp.read=(temp.read[,c(1,3,4,2)])
    names(temp.read) = c("DateTime","Left", "Right", strsplit(paste(strsplit
      (x, split="/")[[1]][8],"_",strsplit(x, split="/")[[1]][9], sep = ""), split=".[.])[[1]][1])
    temp.read=(temp.read[,c(1,2,3,4)])
    temp.read$DateTime=strptime(temp.read$DateTime, tz="GMT", format="%d/%m/%Y %H:%M")
    temp.read$DateTime=as.POSIXlt(temp.read$DateTime, tz="GMT")
    print(x)
    write.csv2(temp.read, file=paste(Dir2,strsplit(x, split="/")[[1]][8],"_",strsplit
      (x, split="/")[[1]][9], sep = ""), row.names = F)
  })
}
```

Obrázek 7 Algoritmus pro úpravu formátu zdrojových dat v Pardubicích. (autor, s použitím RStudio)

Dalším krokem úpravy dat je odstranění chybných měření. Systematické chyby sčítacích zařízení byly odhaleny pomocí kalibračního sčítání a odstraněny vynásobením dat příslušnými kalibračními koeficienty (viz část 4.2.1).

Problém představují nesystematické výpadky sčítacích zařízení. Ze vzorku byly autorem odstraněny všechny údaje, kdy sčítací zařízení nezaznamenalo alespoň v jednom směru žádnou hodnotu (tedy ani nulovou). Dále byly ze vzorku odstraněny profily „Praha_Košíře“ a „Praha_Podolské nábřeží – vozovka“, které obsahovaly údaje pouze pro 0 respektive 2 dny sčítání, a proto neposkytovaly reprezentativní vzorek dat.

S cílem odhalení dalších déle trvajících nesystematických výpadků byly hodinové intenzity CD převedeny na denní intenzity. Byl přijat předpoklad, že nulové denní intenzity se v žádném profilu nevyskytují (každým profilem projede alespoň jeden cyklista za den) a jedná se tedy vždy o chyby měření.

Nulové denní intenzity byly zaznamenány v 19 z 36 sčítacích profilů. Jednalo se pouze o pražské sčítací profily. V Pardubicích se nulové denní intenzity vůbec nevyskytují. Měření

ve dnech s nulovou denní intenzitou byla následně ze vzorku vyřazena. V tab. č. 3 jsou uvedeny počty takto vyřazených dní vedle počtu platných dní sčítání.

Tabulka 3 Průměrná denní intenzita, počet dní s nenulovou denní intenzitou a počet dní vyřazených – s nulovou denní intenzitou v jednotlivých profilech.

	prům. int. [cyklistů/den]	platných dní (int. > 0) [počet]	vyřazených dní (int. = 0) [počet]
Celetná	429	1278	3
Císařský ostrov	753	2003	65
Hlubočepská	495	1427	14
Krč (Sulická)	405	290	34
Lahovičky (Strakonická)	432	2066	60
Letňany	180	1660	5
Modřany	1339	1601	10
nábřeží Kapitána Jaroše	293	1908	66
Podolské nábřeží – stezka	742	1521	254
Povltavská	1003	1485	19
Radotín	292	844	1
Rohanské nábřeží	489	1964	4
Střešovice	94	1414	1
Šeberov	80	1177	113
Špejchar (Pelléova)	89	331	53
Vítkov	194	950	18
Vršovická	236	2060	22
Vysočany	338	809	2

Jirsa, 2016

Nejvíce dní 254 z celkových 1521 bylo vyřazeno v profilu „Podolské nábřeží – stezka“. Z analýzy hodnot v tab. č. 3 lze odvodit, že neexistuje závislost mezi počtem vyřazených hodnot a velikostí vzorku, případně mezi počtem vyřazených hodnot a průměrnou denní intenzitou. Přesto nelze vyloučit, že uvedeným postupem byly ze vzorku vyřazeny i některé dny, ve kterých v méně vytižených profilech skutečně nedošlo za celý den k průjezdu cyklisty. Tím došlo k ochuzení vzorku v části, která je nejvíce negativně ovlivněna nepříznivými podmínkami.

Výpadky trvající kratší dobu než jeden den, případně počáteční, či poslední dny vícedenního výpadku, není možné touto metodou odhalit. Tento fakt bude zohledněn v kapitole 5.1 hodnotící spolehlivost modelu.

4.3 Statistická analýza dat

Graf na obr. č. 9 charakterizuje rozsah vzorku v jednotlivých profilech. U každého profilu je uveden:

- celkový počet zaznamenaných průjezdů,
- průměr ročních intenzit,
- počet dní, ve kterých fungovalo sčítací zařízení správně (tedy sčítalo v obou směrech),
- počet dní, ve kterých sčítací zařízení nesčítalo,
- počet dní, ve kterých sčítací zařízení sčítalo pouze v jednom směru,
- počet vyřazených dní (nulové denní intenzity).

Analyzována byla data získaná do konce roku 2015. U každého sčítacího profilu bylo hodnoceno pouze období, ve kterém je sčítací zařízení nainstalováno. U Pardubického systému je toto období jednotné pro lokality, ve kterých jsou sčítací zařízení nainstalována nepřetržitě, od 1. 1. 2014 do 31. 12. 2015. V ostatních lokalitách v Pardubicích byla sčítací zařízení v provozu pouze 4-9 měsíců. Skutečnost, že vzorek v několika profilech nereprezentuje celý rok, ale pouze jeho část (v přechodných profilech je sčítací zařízení osazeno vždy ve přibližně stejnou část roku pro podchycení meziroční změny), bude zohledněna v podkapitole 4. 4. - Analýza nestandardních krátkodobých a dlouhodobých variací. Nelze totiž vyloučit, že denní nebo týdenní variace cyklistické dopravy se mění v závislosti na ročním období.

Statistické vyhodnocení dat bylo provedeno automaticky pomocí algoritmu, který byl autorem naprogramován v programu R studio. Nejprve byl vytvořen soubor obsahující informace o obsahu dat pro každou hodinu a každý sčítací profil (mimo provoz / sčítal v obou směrech / sčítal v jednom směru / nesčítal). Údaje byly následně vyhodnoceny pomocí dalšího algoritmu (viz obr. č. 8). Z výsledné tabulky byl následně autorem této práce v programu MS Excel vytvořen graf (na obr. č. 9).

```

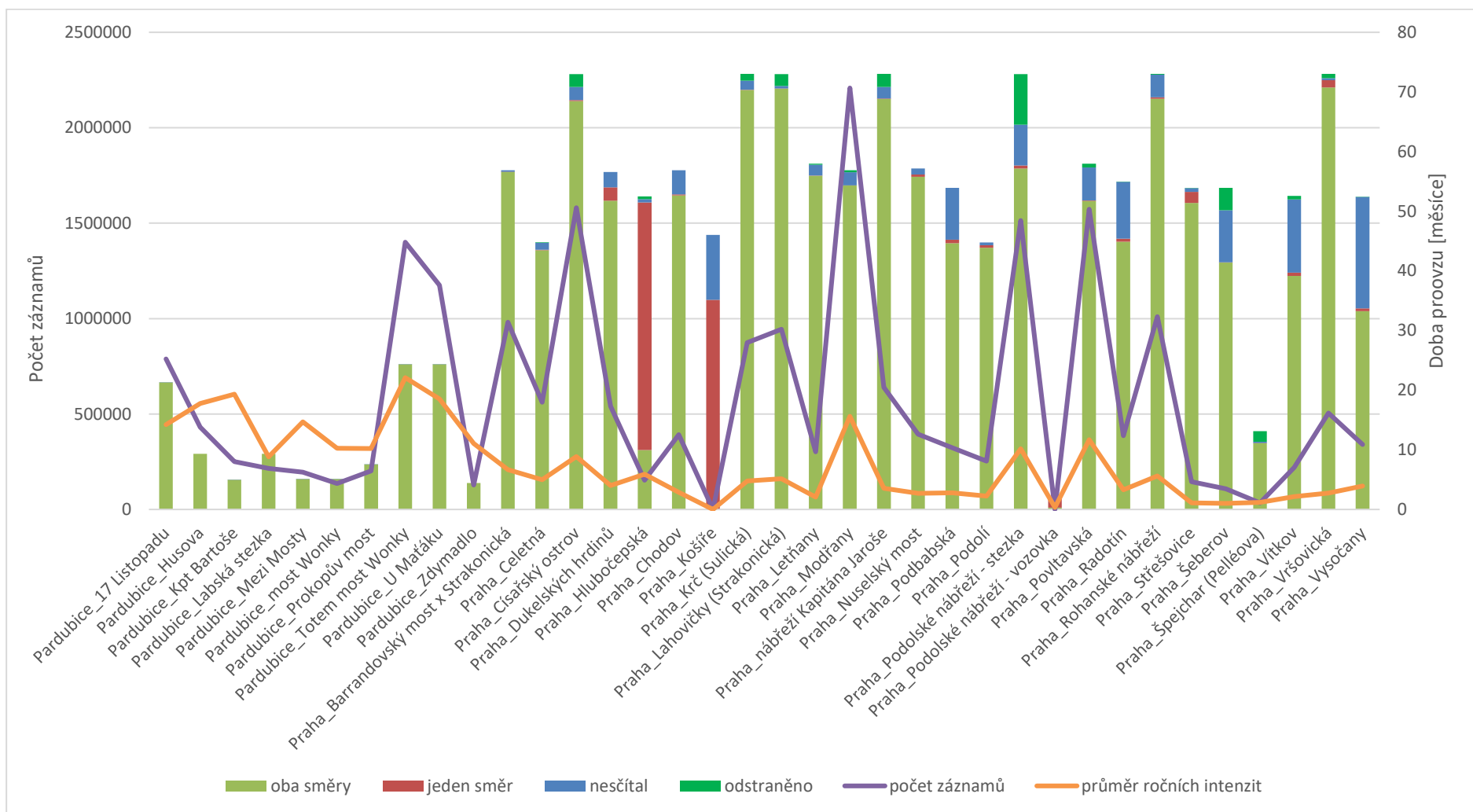
setwd("C://Users/Vojta/Desktop/wD1")
File="C://Users/Vojta/Desktop/wD1/SourceClassified.csv"
RawStats=function(File){
  tempread=read.csv2(File,header=T, check.names=FALSE)
  list=lapply(tempread[,-1],function(x){
    c((sum(as.numeric(x=="0"),na.rm = T)+sum(as.numeric(x=="1"),na.rm = T)+
      sum(as.numeric(x=="2"),na.rm = T))/(24*30),
      (sum(as.numeric(x=="0"),na.rm = T))/(24*30),
      (sum(as.numeric(x=="1"),na.rm = T))/(24*30),
      (sum(as.numeric(x=="2"),na.rm = T))/(24*30),
      (sum(as.numeric(x=="3"),na.rm = T))/(24*30),
      (sum(as.numeric(x=="0"),na.rm = T)+sum(as.numeric(x=="1"),na.rm = T))/
      (sum(as.numeric(x=="0"),na.rm = T)+sum(as.numeric(x=="1"),na.rm = T)
      +sum(as.numeric(x=="2"),na.rm = T)))
  })
  TempBind=Reduce(function(x,y) {rbind(x,y)}, list)
  row.names(TempBind) = colnames(tempread[,-1])
  colnames(TempBind) = c("In Operation","No Direction" , "One Direction",
    "Both Directions", "Removed", "Failure Ratio")
  write.csv2(TempBind, file="RawStats.csv", row.names = T)
}
RawStats(File)

```

Obrázek 8 Algoritmus pro tvorbu statistik zdrojových dat. (autor, s použitím RStudio)

V pražském systému bylo období provozu sčítacích zařízení odvozeno z dostupných dat pro každé zařízení individuálně. Celková doba provozu sčítacích zařízení odpovídá celkové výšce sloupce v grafu na obr. č. 9. Z grafu je patrné, že pardubický systém je v provozu kratší dobu než většina pražských profilů. Výjimku tvoří tři profily, ve kterých byla nainstalována sčítací zařízení nepřetržitě.

V pardubických profilech téměř nedocházelo k výpadkům sčítání ať už v jednom, či obou směrech. Žádné údaje nebyly odstraněny na základě analýzy denních intenzit (viz část 4.2.2). Hned ve čtyřech pardubických profilech projede průměrně více než 500 tis. cyklistů za rok. Této hodnoty nedosahuje žádný z Pražských profilů (nejvíce cyklistů je průměrně zaznamenáváno v profilu Praha Modřany – 49 tis. cyklistů za rok). Data získaná v pardubickém systému mohou být využita pro tvorbu matematického modelu závislosti CD na počasí.



Obrázek 9 Rozsah vzorku v profilech: doba sčítání dle směru, doba vyřazených záznamů, celkový počet záznamů, průměr intenzit. (autor, s použitím MS Excel)

Z profilů v Praze byly z další analýzy vyřazeny profily Hlubočepská, Košíře a Podolské nábřeží – vozovka, ve kterých výrazně převládaly chybné záznamy (tvořily více než tři čtvrtiny záznamů). Ostatní profily budou využity pro tvorbu matematického modelu. Ve třech pražských profilech (Střešovice, Šeberov, Špejchar (Pelléova)) nepřesáhl průměr ročních intenzit hodnotu 50 tis. cyklistů za rok.

4.4 Analýza nestandardních krátkodobých a dlouhodobých variací

V této podkapitole jsou analyzovány variace cyklistické dopravy v průběhu dne, týdne, jednoho roku a také změna intenzit za více let. Analyzovány jsou vždy průměrné hodnoty za celou dobu sčítání (hodinové průměry, denní průměry za 24 h). Za účelem srovnání variací v jednotlivých profilech jsou užity podíly na denních, týdenních a měsíčních intenzitách.

4.4.1 Variace hodinových intenzit

Variace hodinových intenzit jsou různé v a mimo pracovní dny. Z tohoto důvodu byl vzorek rozdělen do dvou skupin:

- pouze pracovní dny bez víkendů, svátků a celorepublikových školních prázdnin,
- pouze víkendy a státní svátky.

Autorem práce byl vytvořen algoritmus pro výběr vzorku dat obsahujících pouze pracovní dny bez víkendu, svátků a školních prázdnin (viz obr. č. 10).

```
DataExclWESHBH=subset(HolidaysPragueRead,  
  !date$wday==0&  
  !date$wday==6&  
  !HolidaysPragueRead$`all`==1&  
  !HolidaysPragueRead$`bank holiday`==1,  
  select = date)  
sampleExclWESHBH=validCountsRead[format(validCountsRead$DateTime,"%x")  
  %in% format(DataExclWESHBH$date,"%x"),]
```

Obrázek 10 Algoritmus pro tvorbu vzorku dat obsahujících pouze vybrané dny. (autor, s použitím RStudio)

Dále byl autorem naprogramován algoritmus pro výpočet průměrných hodinových intenzit pro vybrané dny (např. pracovní dny) ve všech lokalitách (viz obr. č. 11).

```

list=lapply(names(SampelExclWESHBH)[-1],function(y){
  lapply(c(0:23),function(x){
    temphour = subset(SampelExclWESHBH,
                      as.numeric(format(SampelExclWESHBH$DateTime,"%H")) == x, select=y)
    mean(as.numeric(temphour[,1]),na.rm = T)
  })
})
HourlyAverageExclWESHBH=Reduce(function(x,y) {rbind(x,y)}, list)
HourlyAverageExclWESHBH=cbind(HourlyAverageExclWESHBH,names(ValidCountsRead)[-1])
colnames(HourlyAverageExclWESHBH)= c(0:23, "Section")
HourlyAverageExclWESHBH=HourlyAverageExclWESHBH[,c("Section",0:23)]
write.csv2(HourlyAverageExclWESHBH,file="C://Users/Vojta/Desktop/wd1/
FluctuationAnalysis/DayTimeHourlyAverageExclWESHBH.csv",row.names = F)

```

Obrázek 11 Algoritmus pro výpočet průměrů hodinových intenzit. (autor, s použitím RStudio)

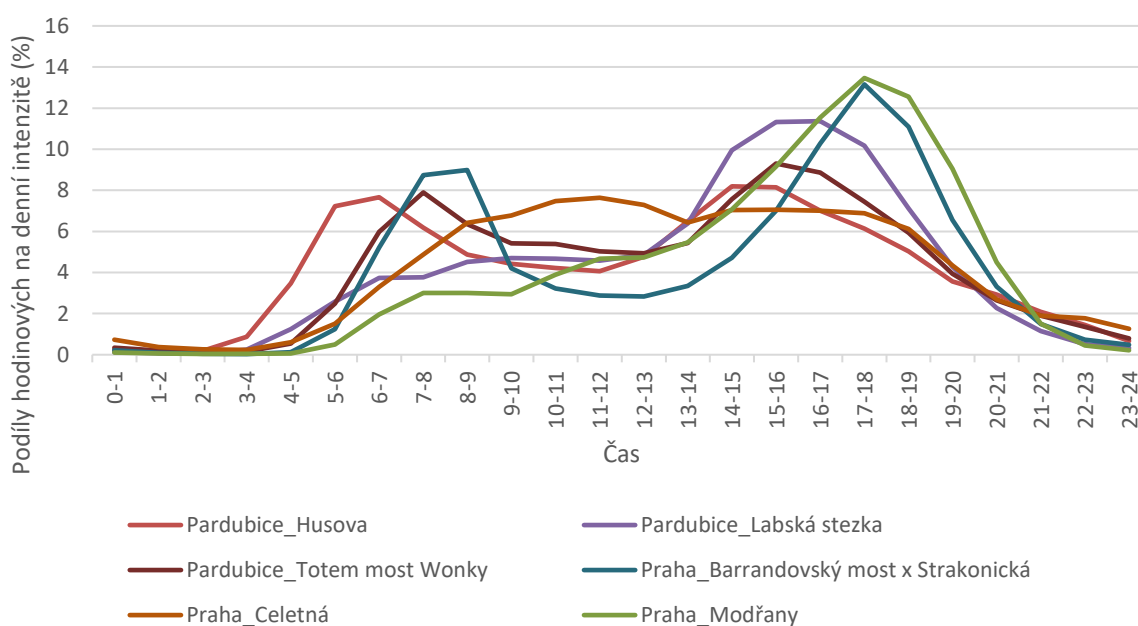
Zobrazení variací ve všech 33 profilech vstupujících do analýzy v jednom grafu není přehledné. Proto byl vybrán vždy pouze jeden profil s variací intenzit charakteristickou pro více profilů. V grafu na obr. č. 12 jsou zobrazeny průměrné podíly hodinových intenzit na denních intenzitách v pracovní dny ve třech vybraných profilech z Pardubic a třech z Prahy. Přičemž u variací v lokalitách Pardubice_Husova a Pardubice_Labská stezka je třeba vzít v úvahu, že lokality byly v provozu pouze určitou část roku (červen až září 2014 a červen až prosinec 2015). Pro zobrazení nebyly použity absolutní hodnoty hodinových intenzit, ale právě podíly hodinových intenzit na denních intenzitách, s cílem umožnit srovnání variací v jednotlivých profilech.

První typ variace je charakteristický výraznou ranní špičkou mezi 7. a 9. hodinou, následným sedlem zhruba okolo poledne a odpolední špičkou mezi 15. a 19. hodinou, která zhruba kopíruje výši ranní špičky. Lze usuzovat na **utilitární charakter provozu** – s převládajícím podílem cyklistů jedoucích ráno do práce a v odpoledních hodinách zpět domů. Tento typ v grafu na obr. č. 12 reprezentují sčítací profily Pardubice_Totem most Wonky a Praha_Barrandovský most x Strakonická. V Praze nastupuje ranní, respektive odpolední špička přibližně o jednu, respektive dvě hodiny později než v Pardubicích.

Speciálním případem je profil Pardubice_Husova, ve kterém byly zaznamenány nejvyšší ranní intenzity mezi 5. a 6. hodinou a odpolední mezi 14. a 15. hodinou. To je přibližně o jednu až dvě hodiny dříve než v ostatních pardubických profilech. Nebylo zjištěno, že by ulice ležela v trase významné poptávky po cyklistické dopravě související například se směnným provozem výrazného zaměstnavatele apod.

Tento první typ variací (utilitární charakter provozu) je charakteristický pro 16 z 23 pražských sčítacích profilů a 9 z 10 profilů v Pardubicích. Pardubické profily charakterizuje mělké sedlo v poledních hodinách a větší shoda mezi velikostí ranní a odpolední špičky. V Pražských profilech obvykle odpolední špička mírně převyšuje ranní špičku.

V Pardubicích je jediným profilem s odlišnou charakteristickou denní variací profil Pardubice_Labská stezka. Ten spadá do skupiny, kterou charakterizuje pozvolný nárůst intenzit v ranních a dopoledních hodinách, se zrychlením růstu v odpoledních hodinách a s kulminací intenzit mezi 16. a 18. hodinou. U tohoto typu lze usuzovat na cíle cest jako je rekreace a volnočasové aktivity. Výrazně vyšší intenzity v odpoledních hodinách mohou být způsobeny cyklisty, kteří vyráží na projížďku po návratu z práce. V tomto případě lze usuzovat na **rekreační charakter provozu, který je ovlivněn pracovní dobou** (v grafu Pardubice_Labská stezka a Praha_Modřany).

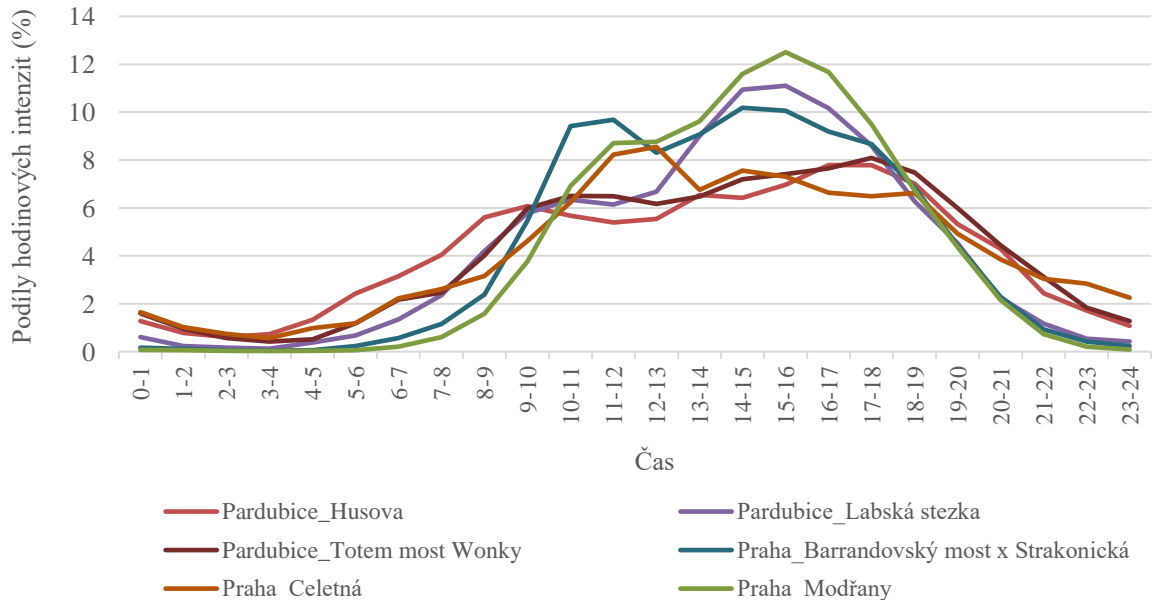


Obrázek 12 Průměrné podíly hodinových intenzit na denní intenzitě v pracovní dny. (autor, s použitím MS Excel)

Poslední třetí charakteristický průběh hodinových intenzit byl zaznamenán v ulici Celetná. Po ranním růstu jsou přibližně od 9. hodiny intenzity v tomto profilu konstantní. K poklesu dochází až po 19. hodině. Tvar křivky vykazuje určitou podobnost s průběhem mimo pracovní dny, který bude popsán v následujícím odstavci. Lze se domnívat, že jde o **rekreační charakter provozu, kdy uživatelé nejsou ovlivněni pracovní dobou** stejně, jako o víkend. Lokace profilu Celetná v historickém centru Prahy tuto hypotézu posiluje.

Variace hodinových intenzit ve dnech pracovního volna jsou zobrazeny v grafu na obr. č. 13. S ohledem na zachování přehlednosti grafu nebyly zobrazeny průběhy intenzit ve všech lokalitách. Pro možnost srovnání byly vybrány stejné lokality jako v grafu na obr. č. 12. Je patrné, že i tyto variace se liší v závislosti na místě sčítání. U některých profilů se vyskytuje nárůst intenzit v odpoledních hodinách. Lze předpokládat, že ve dnech pracovního volna

významně klesá podíl utilitárního charakteru provozu a také rekreačního charakteru provozu ovlivněného pracovní dobou. Naopak ve většině profilů významně roste podíl rekreačního charakteru provozu, který není ovlivněn pracovní dobou.



Obrázek 13 Průměrné podíly hodinových intenzit na denní intenzitě ve dnech pracovního volna. (autor, s použitím MS Excel)

Z analýzy variací hodinových intenzit vyplývá, že denní doba je důležitým parametrem ovlivňujícím intenzitu cyklistické dopravy. Tento parametr musí být zahrnut jako vysvětlující proměnná do matematického modelu závislosti cyklistické dopravy na počasí. V následující části 4.4.2 bude navržena metoda pro určení charakteru provozu CD právě z variací hodinových intenzit dopravy v pracovní dny.

4.4.2 Odhad charakteru provozu cyklistické dopravy na základě denních variací hodinových intenzí

Metoda odhadu charakteru provozu, která je popsána v této podkapitole, vychází z hodnocení denních variací hodinových intenzit v pracovní dny. Vychází z předpokladu uvedeného v předcházející části (4.4.1) o existenci třech základních charakterů provozu:

- 1) utilitární charakter provozu U,
- 2) rekreační charakter provozu omezený pracovní dobou RO,
- 3) rekreační charakter provozu, bez omezení pracovní dobou RBO.

Dalším předpokladem je, že v každém sčítacím profilu může být výsledný charakter provozu kombinací všech základních charakterů provozu. Jinými slovy, intenzitu dopravy

v určitou dobu I_T lze získat jako součet intenzit příslušných k určitému charakteru provozu I_{TU} , I_{TRO} a I_{TRBO} (utilitární, rekreační omezený a bez omezení pracovní dobou) v této době (viz vzorec č. 12 x):

$$I_T = I_{TU} + I_{TRO} + I_{TRBO} \quad [\text{cyklistů za hodinu}] \quad (12)$$

kde:

- I_T ... intenzita provozu [cyklistů za hodinu],
- I_{TU} ... intenzita utilitárního provozu [cyklistů za hodinu],
- I_{TRO} ... intenzita rekreačního provozu ovlivněného pracovní dobou [cyklistů za hodinu],
- I_{TRBO} ... intenzita rekreačního provozu, bez ovlivnění pracovní dobou [cyklistů za hodinu].

Stejný vztah platí i pro podíl hodinových intenzit na denních intenzitách, dle následujícího vzorce č. 13:

$$\frac{I_T}{I_{24}} = \frac{I_{TU}}{I_{24U}} + \frac{I_{TRO}}{I_{24RO}} + \frac{I_{TRBO}}{I_{24RBO}} \quad [\% \text{ denních intenzit}] \quad (13)$$

kde:

- I_T ... intenzita provozu [cyklistů za hodinu],
- I_{24} ... intenzita provozu [% denních intenzit],
- I_{24U} ... intenzita utilitárního provozu [% denních intenzit],
- I_{24RO} ... intenzita rekreačního provozu ovlivněného pracovní dobou [% denních intenzit],
- I_{24RBO} ... intenzita rekreačního provozu, bez ovlivnění pracovní dobou [% denních intenzit].

Obdobně mohou být podíly na denních intenzitách v určitou denní dobu vypočítány pro hypotetické lokality, ve kterých je zastoupen vždy pouze jeden charakter provozu. Tyto referenční podíly R_{TU} , R_{TRO} , R_{TRBO} byly pro účely této studie vypočteny z lokalit, pro které lze předpokládat nejvyšší zastoupení pouze jednoho charakteru provozu. Na základě denních variací a znalosti lokalit byly vybrány sčítací profily Praha_Celetná, Praha_Modřany a Praha_Podolské nábřeží-stezka.

Vynásobením referenčních podílů R_{TU} , R_{TRO} , R_{TRBO} s příslušnými podíly jednotlivých charakterů provozu v daném profilu P_U , P_{RO} , P_{RBO} jsou získány podíly na denních intenzitách příslušné k určitému charakteru provozu. Jejich součet je roven celkovému podílu intenzit na denních intenzitách (viz vzorec 14):

$$\frac{I_T}{I_{24}} = P_U \cdot R_{TU} + P_{RO} \cdot R_{TRO} + P_{RBO} \cdot R_{TRBO} \quad [\% \text{ denních intenzit}] \quad (14)$$

kde:

I_T	... intenzita provozu [cyklistů za hodinu],
I_{24}	... intenzita provozu [cyklistů za 24 hodin],
P_U	... podíl užitárodního charakteru provozu [%],
P_{RO}	... podíl rekreačního charakteru provozu ovlivněného pracovní dobou [%],
P_{RBO}	... podíl rekreačního charakteru provozu bez ovlivnění pracovní dobou [%],
R_{TU}	... referenční podíl intenzit na denní intenzitě pro užitárodní charakter provozu [-]
R_{TRO}	... referenční podíl intenzit na denní intenzitě pro rekreační charakter provozu ovlivněný pracovní dobou [-]
R_{TRBO}	... referenční podíl intenzit na denní intenzitě pro rekreační charakter provozu bez ovlivnění pracovní dobou [-]

Ve vzorci č. 14 jsou pro každý profil známé podíly intenzit na denních intenzitách ($\frac{I_T}{I_{24}}$). Aproximovány byly také referenční podíly R_{TU} , R_{TRO} , R_{TRBO} . Neznámými proměnnými jsou podíly jednotlivých charakterů provozu v daném profilu P_U , P_{RO} , P_{RBO} . Cílem je nalézt pro každý profil takové hodnoty P_U , P_{RO} , P_{RBO} , aby rozdíl pravé a levé strany rovnice č. 14 byl minimální. K řešení problému autor práce využil lineární programování (gradientní metoda) a problém byl definován následovně (viz vzorec 15):

Minimalizovat:

$$\left| \frac{I_T}{I_{24}} - P_U \cdot R_{TU} + P_{RO} \cdot R_{TRO} + P_{RBO} \cdot R_{TRBO} \right| \quad [-] \quad (15)$$

Za podmínek:

$$P_U + P_{RO} + P_{RBO} = 1 \quad [-] \quad (16)$$

$$P_U \geq 0, P_{RO} \geq 0, P_{RBO} \geq 0 \quad [-] \quad (17)$$

Optimalizace byla provedena pro součet odchylek ve třech různých denních dobách tak, aby byly podchyceny rozdíly ve variacích pro jednotlivé charakteru provozu. Byly zvoleny následující časové úseky: 5:00-10:00, 10:00-13:00, 13:00-23:00. V prvním časovém úseku lze

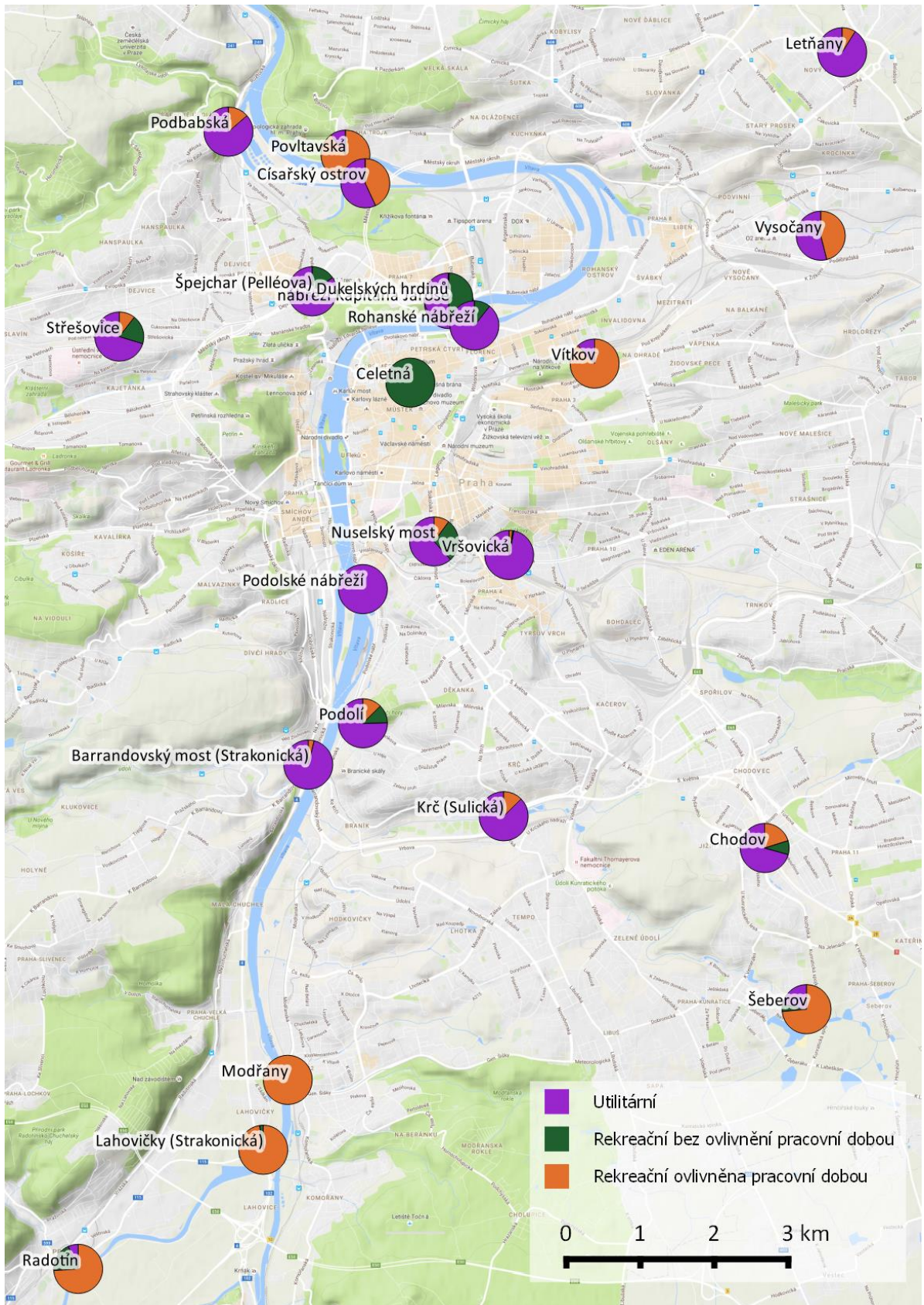
očekávat výrazně vyšší hodnotu parametru R_{TU} , než hodnotu referenčních podílů pro rekreační charakter provozu. Pro časový úsek 10:00-13:00 lze očekávat vyšší podíl na denních intenzitách pro rekreační charakter provozu neovlivněný pracovní dobou R_{TRBO} . Největší význam lze předpokládat u parametru R_{TRO} v odpoledních hodinách.

Mapa na obrázku 14 zobrazuje podíl jednotlivých charakterů provozu na celkových intenzitách v každém sčítacím profilu v Praze. Užitá cyklistika (fialová barva) je významnější v centrální části města (v místech charakteristických vyšší hustotou zalidnění a koncentrací zdrojů a cílů dopravy). Užitá CD dominuje rovněž na březích řeky, které tvoří přirozenou bariéru a přirozený směr poptávky CD s ohledem na nejpříznivější výškový profil cest.

Významný podíl rekreační cyklistiky bez omezení pracovní dobou (zelená) byl odhadnut pro lokality v blízkosti Starého města Pražského (Dukelských hrdinů – 48,5 %, nábřeží Kapitána Jaroše – 28,5 % a Rohanské nábřeží 10,6 %). Tento vyšší podíl může souviset s častějším výskytem turistů, kteří se rozhodnou použít v průběhu dovolené jízdní kolo. V dalších 4 sčítacích profilech byl odhadnut vyšší podíl (15 % - 29 %) rekreačního charakteru provozu bez ovlivnění pracovní dobou. Tyto oblasti přímo nesousedí s hlavními turistickými oblastmi.

Významný podíl rekreačního provozu ovlivněného pracovní dobou (oranžová barva) byl odhadnut pro sčítací zařízení v parcích a pro zařízení, které se nacházejí ve větší vzdálenosti od centra města. Nábřeží řeky v okrajových částech města se zdají být atraktivními lokalitami pro rekreační cyklistiku obyvatel města a méně atraktivní pro dojížděku do zaměstnání (Modřany, Lahovičky, Radotín).

Dle provedeného odhadu převažuje v 16 z 23 pražských sčítacích profilů užitá cyklistika charakter provozu. Odhadované podíly charakterů provozu v jednotlivých profilech odpovídají sídelní struktuře a funkčnímu využití území města. Nicméně je zde několik lokalit s překvapivými výsledky (např. Nuselský most, nebo Radotín). Pro lepší porozumění charakteru provozu, případně nestandardním variacím, by bylo nutné o příslušných lokalitách získat další informace (dotazníkové šetření uživatelů, analýza zdrojů a cílů dopravy příslušných cest).



Obrázek 14 Mapa sčítacích profilů v Praze. (autor, s použitím Q GIS)

Autorem práce byl proveden odhad charakteru provozu na základě průměrných denních variací v pracovní dny, kde průměry byly určeny za celou dobu provozu sčítacích zařízení.

Odlišné zastoupení jednotlivých charakterů provozu může být mimo pracovní dny, případně se může lišit i s ohledem na období roku. Nejméně spolehlivou částí celé metody je výběr referenčních variací, které hypoteticky reprezentují pouze jeden charakter provozu. V této práci byly jako referenční vybrány lokality na základě předpokládané podoby variací a znalosti území. Skutečný charakter provozu nebyl experimentálně ověřen – náročnost průzkumu (dotazování cyklistů v místě sčítání na cíl jejich cesty) přesahuje rozsah této práce. Referenční variace navíc nemusí být totožné pro každou lokalitu a zejména se mohou lišit v různých městech a regionech. Použitá metoda lineární optimalizace nachází pouze lokální optima a mohou tudíž existovat přesnější řešení.

Nicméně tato metoda může být použita pro obce a města, která mají k dispozici údaje o intenzitách cyklistické dopravy (ať už z manuálních sčítání dopravy, nebo ze systému pro automatické sčítání). Obzvláště může být velkým přínosem pro města, která neprovádí průzkumy dopravního chování a nemají k dispozici informaci o dělbě přepravní práce. V takových městech může být cyklistická doprava mylně považována spíše za sport, a nikoliv za vhodný způsob zajištění dopravní obslužnosti. Získané výsledky mohou být dále využity v oblasti plánování dopravy ve strategické/koncepční rovině, ale také pro technický návrh infrastruktury pro cyklisty. Při návrhu infrastruktury pro cyklisty by měl být charakter provozu vždy zohledněn. Různé skupiny uživatelů CD mají specifické potřeby ve vztahu k infrastruktuře. Například rekreační cyklisté mohou preferovat fyzické oddělení od motorové dopravy na úkor plynulosti, zatímco dopravní cyklisté mohou mít opačné preference.

Klíčové je také zohlednit charakter provozu při tvorbě modelu závislosti intenzit cyklistické dopravy na počasí. Charakter provozu může ovlivnit mimo jiné citlivost k povětrnostním vlivům (např. za špatného počasí dojde k většímu poklesu rekreační cyklistiky, než užitární).

4.4.3 Variace denních intenzit

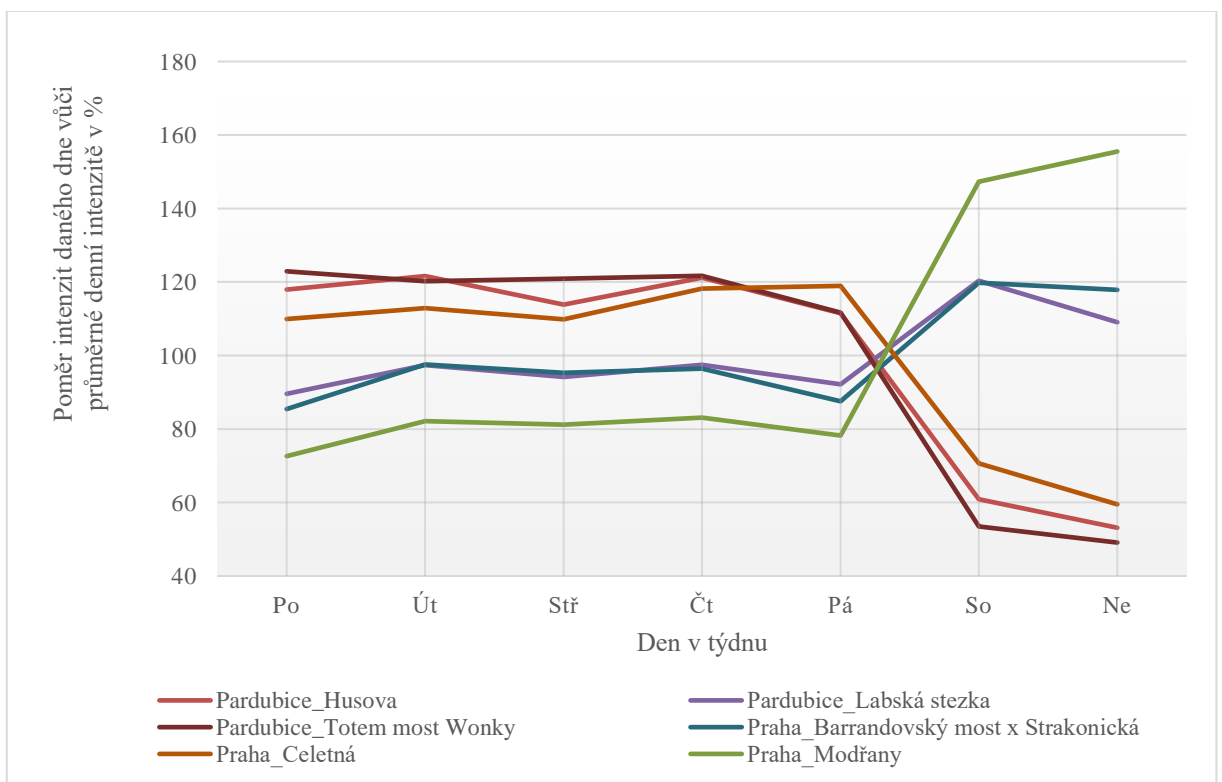
Intenzity cyklistické dopravy varíují rovněž v průběhu týdne. Lze předpokládat, že stejně jako v případě hodinových variací je i v případě denních variací hlavním ovlivňujícím faktorem charakter provozu. V grafu na obrázku 16 jsou vyobrazeny variace intenzit ve vybraných profilech jako poměry intenzit daného dne vůči průměrné denní intenzitě. **Průměry denních intenzit pro jednotlivé dny v týdnu byly opět vypočteny pomocí algoritmu, který vytvořil autor práce** (viz obrázek 15).

V některých profilech v Pardubicích jsou průměrné intenzity v pracovních dnech více než 2x větší než o víkendech (například v případě lokality Pardubice_Totem most Wonky je pondělní hodnota 2,5x vyšší, než nedělní). V jiných profilech je charakter variací přesně opačný, například v lokalitě Praha_Lahovičky (Strakonická) je průměrná nedělní intenzita provozu 3,1x vyšší než pondělní. Dnem s nejvyšší průměrnou denní intenzitou za všechny lokality je čtvrtek s hodnotou intenzit 6 % nad celotýdenním průměrem.

```
AgregatedDailyCounts=read.csv2(file="C://Users/Vojta/desktop/wd1/
AgregatedDailyCounts.csv",header=T, check.names=FALSE)
AgregatedDailyCounts$Date=as.POSIXlt(AgregatedDailyCounts$Date,tz="GMT")
SampleExc1SHBHAgD=AgregatedDailyCounts[AgregatedDailyCounts$Date %in% DataExc1SHBH$date,]

list=apply(names(SampleExc1SHBHAgD)[-1],function(y){
  apply(levels(factor(format(SampleExc1SHBHAgD$Date,"%w"))),function(x){
    tempday = subset(SampleExc1SHBHAgD, as.numeric(format(SampleExc1SHBHAgD$Date,"%w")) == x, select=y)
    mean(as.numeric(tempday[,1]),na.rm = T)
  })
})
DailyAverageExc1SHBH=Reduce(function(x,y) {rbind(x,y)}, list)
DailyAverageExc1SHBH=cbind(DailyAverageExc1SHBH,names(SampleExc1SHBHAgD)[-1])
colnames(DailyAverageExc1SHBH)= c("Sun", "Mon","Tues","wed", "Thu","Fri","Sat","Section")
DailyAverageExc1SHBH=DailyAverageExc1SHBH[,c("Section","Mon","Tues","wed", "Thu","Fri","Sat","Sun")]
write.csv2(DailyAverageExc1SHBH,file=
"C://Users/Vojta/desktop/wd1/FluctuationAnalysis/weekDayDailyAverageExc1SHBH.csv",row.names = F)
```

Obrázek 15 Výpočet průměrných denních intenzit pro dny v týdnu. (autor, s použitím RStudio)



Obrázek 16 Graf poměrů intenzit daného dne vůči průměrné denní intenzitě. (autor, s použitím MS Excel)

K nárůstu intenzit během víkendu dochází zpravidla v lokalitách, kde byl na základě denních intenzit určen významný podíl rekreačního provozu cyklistické dopravy. Například pro v předcházejícím odstavci zmíněnou lokalitu Praha_Lahovičky (Strakonická) byl odhadnut 97,5% podíl rekreačního provozu ovlivněného pracovní dobou. Nicméně nárůst intenzit během

víkendu byl zaznamenán i u některých lokalit, pro které byl na základě variací hodinových intenzit v pracovní dny odhadnut převažující utilitární charakter provozu. Příkladem je lokalita Praha_Barrandovský most x Strakonická, pro kterou byl odhadnut 96,2% podíl rekreačního charakteru provozu. Přesto je v této lokalitě v neděli 1,37x větší intenzita cyklistické dopravy než v pondělí.

Variace denních intenzit pro jednotlivé charaktery provozu se liší. Zároveň se liší absolutní počet cest pro jednotlivé charaktery provozu. O víkendu tedy bude jiné zastoupení jednotlivých charakterů provozu, než ve všední dny a může dojít k nárůstu celkových intenzit provozu CD i přes to, že ve všední dny je dominantní utilitární charakter provozu.

Z analýzy variací denních intenzit vyplývá, že den v týdnu je důležitým parametrem ovlivňujícím intenzitu cyklistické dopravy. Zejména významný je rozdíl mezi všedními dny a víkendy. Parametr den v týdnu, případně parametr pracovní den/den pracovního volna musí být zahrnut jako vysvětlující proměnná do matematického modelu závislosti intenzit cyklistické dopravy na počasí. Variantou je také zpracování modelu pouze pro pracovní dny, bez zahrnutí dnů pracovního volna, který by nemusel zahrnovat nominální proměnnou pracovní den/den pracovního volna.

4.4.4 Variace měsíčních intenzit

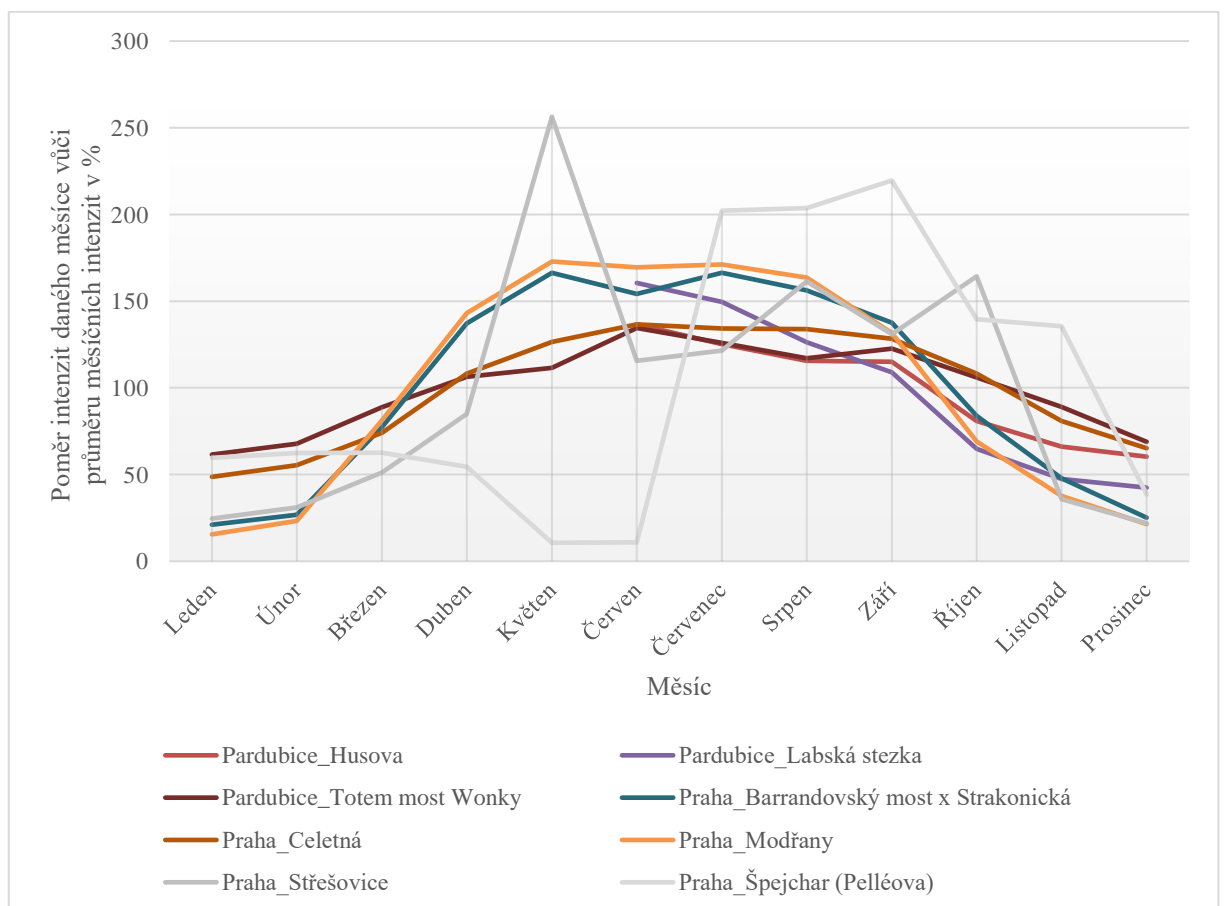
Období roku ovlivňuje intenzity CD. Existují „sezónní“ skupiny uživatelů CD, kteří využívají kolo pouze anebo častěji v období „teplých měsíců“ (například duben–září). Tento fakt je příčinou určitého poklesu intenzit CD v chladných měsících (například říjen–únor). Dále lze předpokládat, že existuje vzájemná provázanost mezi významem faktorů kalendářního měsíce a faktorů povětrnostních vlivů. Citlivost k povětrnostním vlivům může být vyšší například v chladných měsících, nebo naopak. **Autorem práce vytvořený algoritmus pro výpočet průměrných denních intenzit v jednotlivých měsících je na obr. č. 17.**

```
list=lapply(names(AgregatedDailyCounts)[-1],function(y){
  lapply(levels(factor(format(AgregatedDailyCounts$Date,"%m"))),function(x){
    tempday = subset(AgregatedDailyCounts, format(AgregatedDailyCounts$Date,"%m") == x, select=y)
    mean(as.numeric(tempday[,1]),na.rm = T)
  })
})
MonthsDailyAverage=Reduce(function(x,y) {rbind(x,y)}, list)
MonthsDailyAverage=cbind(MonthsDailyAverage,names(AgregatedDailyCounts)[-1])
colnames(MonthsDailyAverage)= c("Jan", "Feb", "Mar", "Apr", "May",
  "Jun", "Jul", "Aug", "Sep", "Oct", "Nov", "Dec", "Section")
MonthsDailyAverage=MonthsDailyAverage[,c("Section","Jan", "Feb", "Mar", "Apr", "May", "Jun",
  "Jul", "Aug", "Sep", "Oct", "Nov", "Dec")]
write.csv2(MonthsDailyAverage,file="C://Users/Vojta/Desktop/wD1/
  FluctuationAnalysis/MonthsDailyAverage.csv",row.names = F)
```

Obrázek 17 Výpočet průměrných denních intenzit pro měsíce roku. (autor, s použitím RStudio)

Vedle těchto vlivů, které lze přisuzovat výhradně kalendářnímu datu, ovlivňují měsíční variace rovněž aktuální povětrnostní vlivy a období státních svátků a prázdnin (například letní školní prázdniny, vánoční prázdniny, nebo jarní a podzimní prázdniny v jednotlivých regionech).

Variace intenzit cyklistické dopravy v průběhu roku jsou zobrazeny v grafu na obr. č. 18. Pro umožnění vzájemného srovnání jsou variace vyjádřeny jako poměry intenzit daného měsíce vůči průměru měsíčních intenzit v dané lokalitě. K dílčímu zkruslení mohlo dojít v pardubických lokalitách Husova a Labská stezka, ve kterých byl průměr měsíčních intenzit určen pouze z těch měsíců roku, kde byla sčítací zařízení v příslušných lokalitách v provozu. Jedná se o období červen–prosinec, tedy období, které reprezentuje polovinu roku a obsahuje stejný počet teplých i studených měsíců.



Obrázek 18 Graf poměrů intenzit daného měsíce vůči průměru měsíčních intenzit. (autor, s použitím MS Excel)

Dle očekávání dochází k nárůstu intenzit cyklistické dopravy v teplých měsících a k relativnímu poklesu ve studených, zejména zimních měsících. V průměru za všechny lokality (Praha i Pardubice) je měsícem s nejnižším průměrem intenzit CD leden (23 %

celoročního průměru). Měsícem s nejvyšším průměrem intenzit je červenec (160 % celoročního průměru).

Rozdíl intenzit mezi teplými a studenými měsíci se v jednotlivých lokalitách liší. Například v žádné z pardubických lokalit neklesají lednové intenzity pod 55 % celoročního průměru a lednový průměr za všechny pardubické profily činí 61 % celoročního průměru. Průměrné lednové intenzity v pardubických profilech tvoří 44 % červenových intenzit. S ohledem na to, že červen je v Pardubicích měsíc, ve kterém je dosahováno nejvyšších intenzit, lze říci, že v Pardubicích jezdí celoročně 44 % všech cyklistů. V Praze jsou intenzity cyklistické dopravy ve studených měsících v porovnání k teplým měsícům výrazně nižší než v Pardubicích. Například lednový průměr za všechny pražské profily činí pouze 23 % celoročního průměru a celoročně jezdí v Praze pouze 14 % všech cyklistů.

Lze se domnívat, že v některých lokalitách je vyšší citlivost k období roku, potažmo k faktorům počasí, způsobena charakterem provozu v těchto lokalitách, převládající délkou, výškovým profilem cest a dalšími parametry cest, ale také odlišnými zvyklostmi samotných uživatelů. Určitý význam lze přisuzovat rozdílné kvalitě zimní údržby v obou městech. V pražských lokalitách, které vykazují výrazně vyšší citlivost k období roku než pardubické lokality, lze očekávat vyšší průměrnou délku cest, větší zastoupení rekreačního charakteru provozu a vyšší celkové převýšení cest.

Ve dvou lokalitách byly zjištěny nestandardní variace. Jedná se o lokality Praha_Střešovice a Praha_Špejchar Pelléova (viz graf na obr. č. 18). Obě lokality vykazují relativně malý průměr ročních intenzit (méně než 40 tis. cyklistů za rok). Při detailní analýze dat z daných lokalit bylo zjištěno, že v určitých obdobích docházelo v těchto lokalitách k záznamům neočekávaných intenzit CD, které neodpovídaly variacím v dalších lokalitách v Praze. Vzhledem k tomu, že tyto poruchy trvaly řádově dny a týdny, nebyly vizuálně rozpoznány v analýze variací hodinových a denních intenzit (části 4.4.1 a 4.4.3). Vzhledem k dostatečnému rozsahu dat ve vzorku budou tyto lokality ze vzorku pro tvorbu matematického modelu intenzit cyklistické dopravy na počasí vyloučeny.

Období roku je významným faktorem ovlivňujícím intenzity cyklistické dopravy. Z tohoto důvodu bude období roku zařazeno mezi vstupní proměnné modelu závislosti intenzit cyklistické dopravy na počasí. Stejně jako význam denní doby a dne v týdnu se i význam ročního období v různých lokalitách liší. Tento fakt bude zohledněn při tvorbě modelu závislosti cyklistické dopravy na počasí.

4.4.5 Variace ročních intenzit

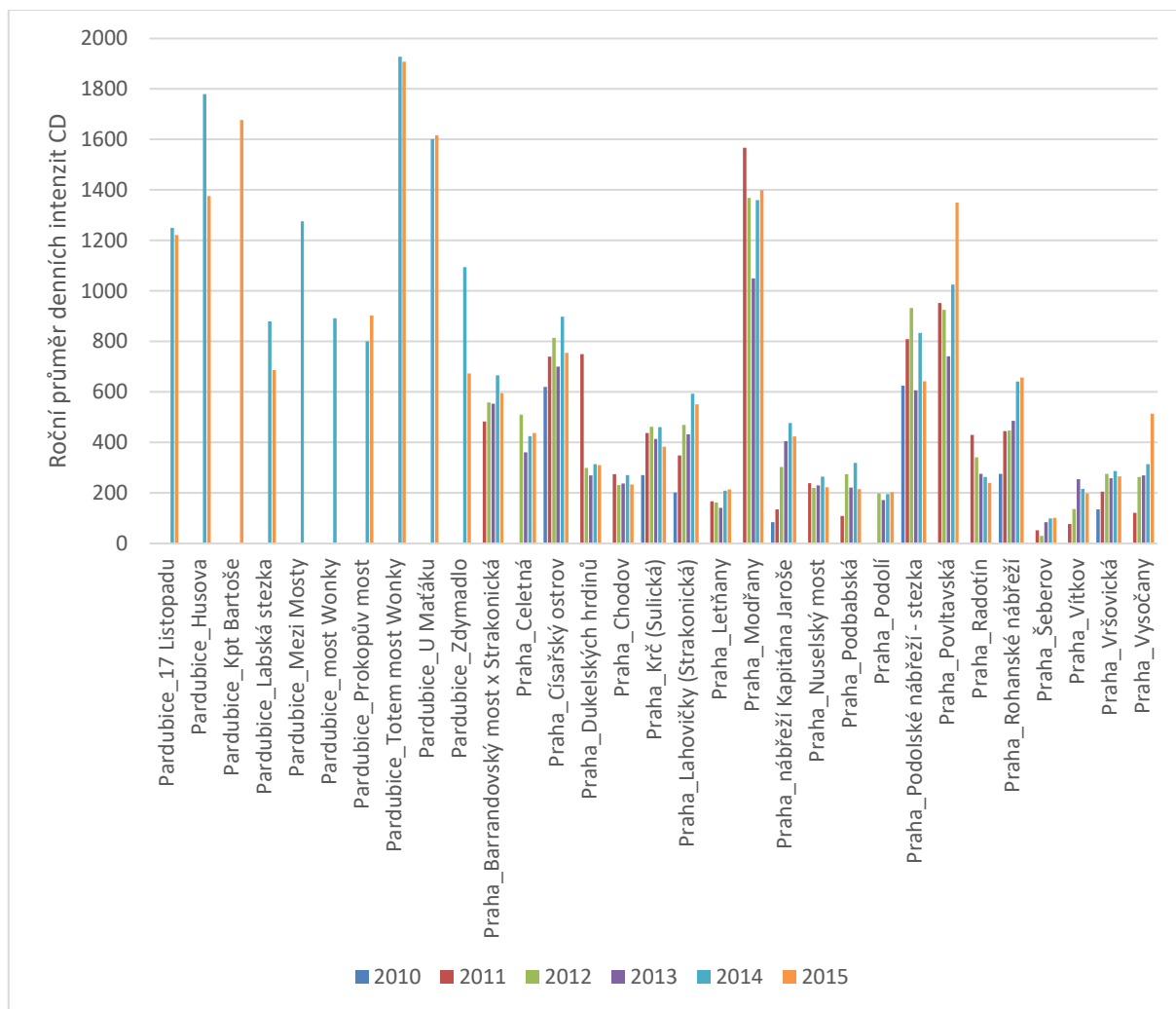
V grafu na obr. č. 20 jsou vyneseny roční průměry denních intenzit v jednotlivých letech. **Průměrné denní intenzity pro jednotlivé roky byly vypočteny pomocí algoritmu, který byl vytvořen autorem práce (viz obr. č. 19).**

```
list=lapply(names(AgregatedDailyCounts)[-1],function(y){
  lapply(levels(factor(format(AgregatedDailyCounts$Date,"%Y"))),function(x){
    tempday = subset(AgregatedDailyCounts, format(AgregatedDailyCounts$Date,"%Y") == x, select=y)
    mean(as.numeric(tempday[,1]),na.rm = T)
  })
})
YearsDailyAverage=Reduce(function(x,y) {rbind(x,y)}, list)
YearsDailyAverage=cbind(YearsDailyAverage,names(AgregatedDailyCounts)[-1])
colnames(YearsDailyAverage)= c("2010","2011","2012","2013","2014","2015","Section")
YearsDailyAverage=YearsDailyAverage[,c("Section","2010","2011","2012","2013","2014","2015")]
write.csv2(YearsDailyAverage,file="C://Users/Vojta/Desktop/wD1/
FluctuationAnalysis/YearsDailyAverage.csv",row.names = F)
```

Obrázek 19 Výpočet průměrných denních intenzit pro jednotlivé roky. (autor, s použitím RStudio)

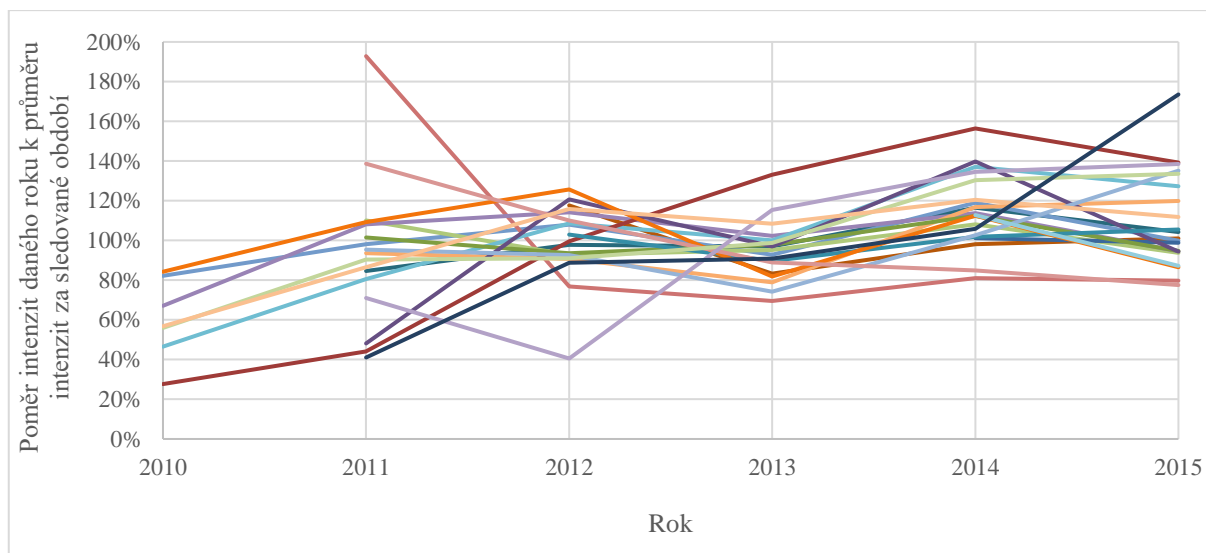
V pardubických lokalitách jsou roční průměry denních intenzit k dispozici pouze za jeden rok (3 lokality), případně dva roky (7 lokalit). Meziroční srovnání je v Pardubicích možné v lokalitách, kde byla umístěna sčítací zařízení nepřetržitě (17. listopadu, Totem most Wonky a U Maťáku). V ostatních lokalitách byla sčítací zařízení osazena pouze v určitých měsících, které se pro jednotlivé roky přesně neshodují. V lokalitě 17. listopadu došlo k mírnému poklesu celoročního průměru o 2,3 %. Určitý podíl na poklesu má výpadek sčítacího zařízení v průběhu rekonstrukce ulice v září a říjnu 2014 (tedy v nadprůměrných měsících). K nepatrnému poklesu 1,0 % došlo také v lokalitě Totem most Wonky. Jednoprocentní nárůst byl zaznamenán v lokalitě U Maťáku. S ohledem na relativní odchylku sčítání, která byla určena v části 4.2.1 a pohybuje na úrovni jednotek procent, lze považovat změny intenzit v řádu jednotek procent za zanedbatelné. V Pardubických lokalitách nedošlo mezi lety 2014 a 2015 k růstu/poklesu intenzit cyklistické dopravy.

V pražských lokalitách jsou k dispozici údaje za delší časové období 2010–2015. Přehlednější zobrazení vývoje ročních průměru je v grafu na obr. č. 21, ve kterém jsou vyneseny poměry intenzit daného roku vůči průměru intenzit za sledované období. Problematické jsou v každé lokalitě roční průměry v roce instalace zařízení. V těchto letech byl totiž průměr vytvořen vždy pouze z několika měsíců, a to od data instalace do konce roku. Výjimku tvoří lokality, ve kterých byla osazena sčítací zařízení v roce 2010. Zde došlo k osazení vždy 1. 1. 2010 a roční průměry jsou tedy vypočteny z celých 12 měsíců.



Obrázek 20 Graf vývoje ročních průměrů denních intenzit cyklistické dopravy během let 2010-2015. (autor, s použitím MS Excel)

Z grafu na obr. č. 21 je patrné, že k významnému nárůstu intenzit cyklistické dopravy došlo v Praze mezi lety 2010-2012. Průměrný nárůst v sedmi lokalitách, které byly v provozu mezi lety 2010-2012 je 102 %. Počet cyklistů se tedy za dva roky více než zdvojnásobil. Do roku 2015 došlo v těchto 7 lokalitách k průměrnému nárůstu intenzit 125 %. V letech 2012 a 2013 došlo v lokalitách, které byly již oba tyto roky v provozu k průměrnému meziročnímu poklesu 2,7 %. Následoval růst 21,4 % mezi lety 2013 a 2014 a dílčí pokles 2,7 % mezi lety 2014 a 2015. Od roku 2013 jsou již brány v úvahu průměrné meziroční změny za všechny lokality (poslední lokality byly uvedeny do provozu v průběhu roku 2012). S ohledem na relativní odchylku sčítání, určenou v části 4.2.1 lze říci, že v Praze došlo mezi lety 2010 až 2015 k významnému nárůstu intenzit CD a to v řádu desítek až jednotek stovek procent.



Obrázek 21 Graf poměrů intenzit daného roku vůči průměru intenzit za sledované období. (autor, s použitím MS Excel)

Změnu preferencí a dopravního chování obyvatel, jejímž projevem je rovněž změna intenzit CD, ovlivňuje v dlouhodobém časovém měřítku, vedle faktorů jako ekonomika, změna sídelní struktury, infrastruktura apod., také charakter počasí v daném roce. Bez zohlednění vlivu počasí není možné usuzovat na změnu preferencí uživatelů. K tvrzení, že v roce 2015 používali obyvatelé Prahy kolo častěji než v roce 2010, je třeba dodat, že není znám vliv parametrů počasí na tuto změnu.

Z grafu na obr. č. 21 je patrné, že meziroční změny v různých lokalitách spolu v některých případech souvisí, zatímco v jiných případech jsou vzájemně nezávislé. V řadě případů dochází v určité lokalitě k růstu intenzit, zatímco v jiných lokalitách dochází k poklesu. Rozdílnost mezi vývojem v jednotlivých lokalitách může být způsobena rozdílným charakterem provozu v těchto lokalitách nebo lišícími se parametry cest. Zásadní roli mohou hrát úpravy infrastruktury a pozemních komunikací, a to nejen v samotné lokalitě, ale také v navazující síti pozemních komunikací, v jejichž důsledku dochází ke změně trasování cest.

Ve sledovaných lokalitách docházelo k nezanedbatelným meziročním změnám v intenzitách CD (v řádu desítek procent). Důvodem vývoje intenzit CD je změna převládajícího charakteru počasí v jednotlivých letech, ale také změny v infrastruktuře, případně sídelní struktuře města a v neposlední řadě změny v preferencích uživatelů. Kalendářní rok bude autorem zahrnut jako vstupní proměnná do matematického modelu závislosti intenzit CD na počasí. Následně bude možné hodnotit míru vlivu této proměnné, respektive modelovat meziroční změnu intenzit CD při ponechání ostatních proměnných beze

změny (například nastavení parametrů počasí na průměrné hodnoty). Tímto způsobem bude zhodnocena reálná meziroční změna preferencí uživatelů a vliv počasí odfiltrován.

4.4.6 *Shrnutí analýzy nestandardních krátkodobých a dlouhodobých variací*

Z analýzy variací intenzit cyklistické dopravy vyplývá, že čas, den v týdnu, měsíc roku i kalendářní rok ovlivňují intenzity cyklistické dopravy, a proto musí být zahrnuty mezi vysvětlující proměnné v modelu závislosti intenzit cyklistické dopravy na počasí. Z analýzy rovněž vyplynulo, že pro jednotlivé lokality se vliv časových faktorů liší, a to v důsledku odlišných parametrů cest, v dané lokalitě. Proto je nezbytné určit parametry modelu pro každou lokalitu zvlášť. Lokalita je v modelu reprezentována nominální proměnnou. Další nominální proměnná je přiřazena městu, ve kterém se lokalita nachází.

4.5 Povětrnostní vlivy

Údaje o počasí byly získány ze záznamů meteorologických stanic letiště Václava Havla v Praze a letiště Pardubice. Údaje z Mezinárodního letiště Václava Havla byly v matematickém modelu závislosti intenzit CD na počasí přiřazeny k systému pro automatické sčítání CD v Praze. Zde činila průměrná vzdálenost sčítacích lokalit od místa měření povětrnostních vlivů přibližně 12 km. Obdobně byly údaje z letiště Pardubice přiřazeny k datům ze systému pro automatické sčítání CD v Pardubicích, kde průměrná vzdálenost letiště od sčítacích lokalit činila přibližně 3,5 km.

Historická data o počasí byla získána z webu Wunderground.com (Wunderground, 2016), který shromažďuje a zpřístupňuje celosvětově veřejně dostupná data o počasí. Server Wunderground.com neumožňuje stažení dat v neagregované formě (v kroku jedné hodiny) pro delší časové období než jeden den. Autor využil pro stažení neagregovaných dat balíček „weatherData“ pro programovací platformu R. Balíček neboli package je soubor příkazů, které obsahují již předem naprogramované algoritmy. Z balíčku „weatherData“ byl použit příkaz „getWeatherForDate“, který umožňuje stažení údajů z příslušné meteorologické stanice pro zadané období. Algoritmus načítá neagregovaná data o počasí ze serveru Wunderground.com pro jednotlivé dny ze zadaného období a ukládá je do jednoho souboru. **Autorem vytvořený algoritmus, který využívá příkazu „getWeatherForDate“ a jehož výsledkem je soubor ve formátu CSV obsahující neagregované údaje o počasí za zvolené období na letišti Pardubice je na obr. č. 22.**

```

d=getweatherForDate("LKPD", "2014-01-01", end_date = "2015-12-31",
                    station_type = "airportCode", opt_detailed = TRUE,
                    opt_write_to_file = FALSE, opt_temperature_columns = FALSE,
                    opt_all_columns = TRUE, opt_custom_columns = FALSE,
                    custom_columns = NULL, opt_verbose = TRUE, daily_min = FALSE,
                    daily_max = FALSE)
write.csv(d, file = "C://Users/Vojta/Desktop/wdata/Raw/Pardubice.csv")
d=read.csv(file = "C://Users/Vojta/Desktop/wdata/Raw/Pardubice.csv",sep=";",header=T,
           [check.names=FALSE])
d$dateUTC=as.POSIXct(d$dateUTC, tz="UTC")
d=cbind(d,DateCET=format(d$dateUTC, tz="Europe/Prague",usetz=TRUE))
d=d[,c("DateCET", "TemperatureC", "Dew_PointC","Humidity",
       "Sea_Level_PressurehPa", "VisibilityKm", "wind_SpeedKm_h","Precipitationmm",
       "Events", "Conditions")]
d=d[d$Precipitationmm=="N/A", ]
d=d[format(as.POSIXlt(as.character(d$dateCET),tz="CET"),"%M")==="00", ]
write.csv(d, file = "C://Users/Vojta/Desktop/wdata/Pardubice.csv",row.names = FALSE)

```

Obrázek 22 Algoritmus pro stažení údajů o počasí ze serveru Wunderground.com. (autor, s použitím RStudio)

Data o počasí jsou uspořádána a kódována dle pravidel OFCM (kancelář federálního koordinátora pro meteorologické služby a související výzkum) Federal Meteorological Handbook No. 1 (OFCM, 2005). V tabulce č. 4 je uveden přehled dostupných atributů počasí, včetně typu proměnné a jednotky, které byly pomocí algoritmu uvedeném na obr. č. 22 získány v kroku jedné hodiny.

Tabulka 4 Přehled dostupných atributů počasí.

anglický název	český název	Jednotka	Typ
DateCET	datum a čas	rok-měsíc-den hodina:minuta:vteřina	kvantitativní
TemperatureC	teplota	°C	kvantitativní
Dew_PointC	rosný bod	°C	kvantitativní
Humidity	relativní vlhkost	%	kvantitativní
Sea_Level_PressurehPa	tlak vzduchu	Pa	kvantitativní
VisibilityKm	viditelnost	Km	kvantitativní
Wind_SpeedKm_h	rychlost větru	Km/h	kvantitativní
Conditions	podmínky	-	kvalitativní

Jirsa, 2016

Mezi atributy počasí nejsou k dispozici kvantitativní údaje o srážkách (úhrny srážek). Výskyt, druh a intenzita srážek je vedle dalších jevů, které mají vliv na viditelnost, zahrnuta pod jediným kvalitativním atributem „podmínky“. Atribut „podmínky“ nabývá pro v této práci sledované lokality a období celkem 45 různých hodnot. Hodnota je vždy složena z typu srážky (např. mrholení, déšť, sněžení), případně jiného jevu (např. mlha), dále potom z kvantifikátoru (lehká, mírná, těžká) případně dalšího přívlastku (např. mrznoucí, přeháňka, bouřka). Různých hodnot reprezentujících srážky je ve vzorku zastoupeno 32. Pro účely disertační práce bylo těchto 32 hodnot agregováno do 4 kategorií: lehká dešťová srážka, dešťová srážka, sněžení, neurčená srážka. Cílem agregace je umožnit hodnocení vlivu srážek na intenzity cyklistické

dopravy, snížit počet vstupních proměnných matematického modelu, potažmo snížit dobu potřebnou pro výpočet parametrů matematického modelu. V tabulce č. 5 jsou přiřazeny jednotlivé hodnoty získané z webu Wunderground.com (Wunderground.com, 2016) do 4 vymezených kategorií. Dešťová srážka je dle pravidel OFCM (OFCM, 2005) kvalifikována jako srážka s úhrnem větším než cca. 2,8 mm za hodinu. Pro představu se jedná o srážky, kdy přestávají být rozlišitelné jednotlivé kapky deště, povrch země je kompletně vlhký a nad povrchem je pozorovatelné rozprašování kapek po dopadu. Kategorie neurčitá srážka je použita v případech, kdy zařízení pro automatickou detekci srážek zaznamenalo srážku, ale nedošlo k přesnému vyhodnocení jejího typu a intenzity.

Tabulka 5 Agregace hodnot atributu podmínky do čtyř kategorií.

Lehká dešťová srážka	Dešťová srážka	Sněžení	Neurčená srážka
lehké mrholení	těžký déšť	sněhová vánice	
mrholení	těžké dešťové přeháňky	těžké sněžení	
těžké mrholení	těžký déšť s bouřkou	těžké sněhové přeháňky	
lehké mrznoucí mrholení	dešť s bouřkou	ledové krystaly	
lehký déšť	dešť	ledové pelety	
lehké dešťové přeháňky	dešťové přeháňky	lehké ledové pelety	
lehký mrznoucí déšť	mrznoucí déšť	lehké sněžení	
lehká bouřka s deštěm	malé kroupy	ledová zrnka	
lehké přeháňky s výskytem krup	přeháňky malých krup	lehké sněhové přeháňky	
bouřka bez deště		lehká vánice	
		sněžení	
		sněhová zrnka	
		sněhové přeháňky	

Jirsa, 2016

Dále byla přidána další kvalitativní proměnná pro indikaci výskytu srážky ve dvou hodinách předcházejících hodině záznamu a dále potom proměnná indikující výskyt srážky v ranních hodinách (mezi 5. a 10. hodinou ranní). V předcházejících studiích (eg. Nosal, 2014) byl prokázán nezanedbatelný vliv počasí v hodinách předcházejících samotnému záznamu průjezdu cyklisty na intenzity CD. Obdobně byl prokázán také vliv počasí v ranních hodinách na cesty realizované ve zbytku dne (eg. Nosal, 2014). Vysvětlující proměnné, které charakterizují počasí, jsou součástí celkového přehledu vstupních proměnných v tabulce č. 6.

4.6 Parametry a výstupy použitých matematických modelů

V této podkapitole jsou popsány parametry použitých modelů a diskutovány jejich výstupy. Nejprve jsou v první části 4.6.1 popsány vstupní a výstupní proměnné, které se shodují pro oba druhy modelů. Dále je postupně popsán model vytvořený s použitím NN (část 4.6.2) a dále potom zobecněný lineární/nelineární model (část 4.6.3).

4.6.1 Proměnné modelu

Výstupní proměnou pro oba druhy modelu jsou hodinové intenzity cyklistické dopravy v určitém profilu. Vstupní proměnné lze rozdělit do tří skupin na proměnné reprezentující počasí a proměnné reprezentující parametry času. Celkový přehled vstupních proměnných je uveden v tabulce č. 6.

Tabulka 6 Přehled vstupních proměnných.

anglický název proměnné	český název proměnné	kategorie/jednotka	charakter
Year	rok	11-15	kategorická
Month	měsíc	0-11	kategorická
Day	den v týdnu	0-6	kategorická
Hour	hodina	0-23	kategorická
BankHoliday	státní svátek	0/1	kategorická
SchoolHoliday	školní prázdniny	0/1	kategorická
TemperatureC	teplota	°C	spojitá
Dew_PointC	rosný bod	°C	spojitá
Humidity	vlhkost	%	spojitá
Sea_Level_PressurehPa	tlak vzduchu	hPa	spojitá
VisibilityKm	viditelnost	km	spojitá
Wind_SpeedKm_h	rychlost větru	km/h	spojitá
Light_Rain	lehká dešťová srážka	0/1	kategorická
Rain	dešťová srážka	0/1	kategorická
Snow	sněžení	0/1	kategorická
Unknown_Precipitation	neurčitá srážka	0/1	kategorická
Precipitation_2h	srážka v předchozích 2h	0/1	kategorická
Precipitation_Morning	srážka v ranních hodinách	0/1	kategorická

(Jirsa, 2016)

Parametry počasí jsou přiřazeny jednotlivým profilům na základě jejich vzdálenosti od meteorologické stanice. Pražským profilům jsou přiřazeny hodnoty parametrů zaznamenaných na letišti Václava Havla v Praze, pardubickým profilům parametry počasí zaznamenané na letišti Pardubice. Mezi parametry počasí jsou jak spojité, tak i kategorické proměnné, které reprezentují výskyt určitého jevu, například určitého druhu srážky, v určité době.

4.6.2 Neuronové sítě

Z vlastností NN, které byly obecně popsány v podkapitole 3.2, vyplývá, že existuje neomezené množství neuronových sítí vhodných k řešení daného problému. V rámci procesu hledání nejvhodnější z nich bylo trénováno několik desítek neuronových sítí. Jednalo se o neuronové sítě typu RBF (Radial Bases Function) a neuronové sítě typu MPL (Multi Layer Perceptron). Jednotlivé sítě se lišily počtem skrytých vrstev a druhem aktivační funkce použité pro neurony skrytých vrstev. Pro aktivační funkci neuronů výstupní vrstvy byla vždy použita exponenciální funkce s cílem získání nenulových a nezáporných predikcí. Tabulka č. 7 obsahuje matematické vyjádření všech testovaných aktivačních funkcí.

Tabulka 7 Přehled užitých aktivačních funkcí.

Aktivační funkce	Mat. popis	Popis	Rozsah
Identická	a^*	Výstup neuronu je shodný se vstupem (používá se pro vstupní vrstvu).	$(-\infty, +\infty)$
Sigmoida	$\frac{1}{1 + e^{-a}}$	Funkce s tvarem písmene S.	$(0,1)$
Hyperbolický tangens	$\frac{e^a - e^{-a}}{e^a + e^{-a}}$	Má obdobný tvar jako sigmoida a díky symetričnosti může dosahovat lepších výsledků. Používá se převážně pro skryté vrstvy. Označuje se Tanh.	$(-1, +1)$
Exponenciální	e^{-a}	Negativní exponenciální funkce.	$(0, +\infty)$

* a je síla impulzu vstupujícího do neuronu, respektive vážený součet všech impulzů vstupujících do neuronu.

Jirsa, 2016

Z trénovaných NN byla následně vybrána ta NN, která poskytovala nejlepší shodu pozorovaných a modelem predikovaných hodnot. Pro vyjádření míry shody byl použit součet čtverců odchylek pozorovaných a modelem predikovaných hodnot – chybová funkce (viz rovnici č. 18):

$$E_{SOS} = \sum_{i=1}^N (y_i - t_i)^2 \quad [-] \quad (18)$$

kde:

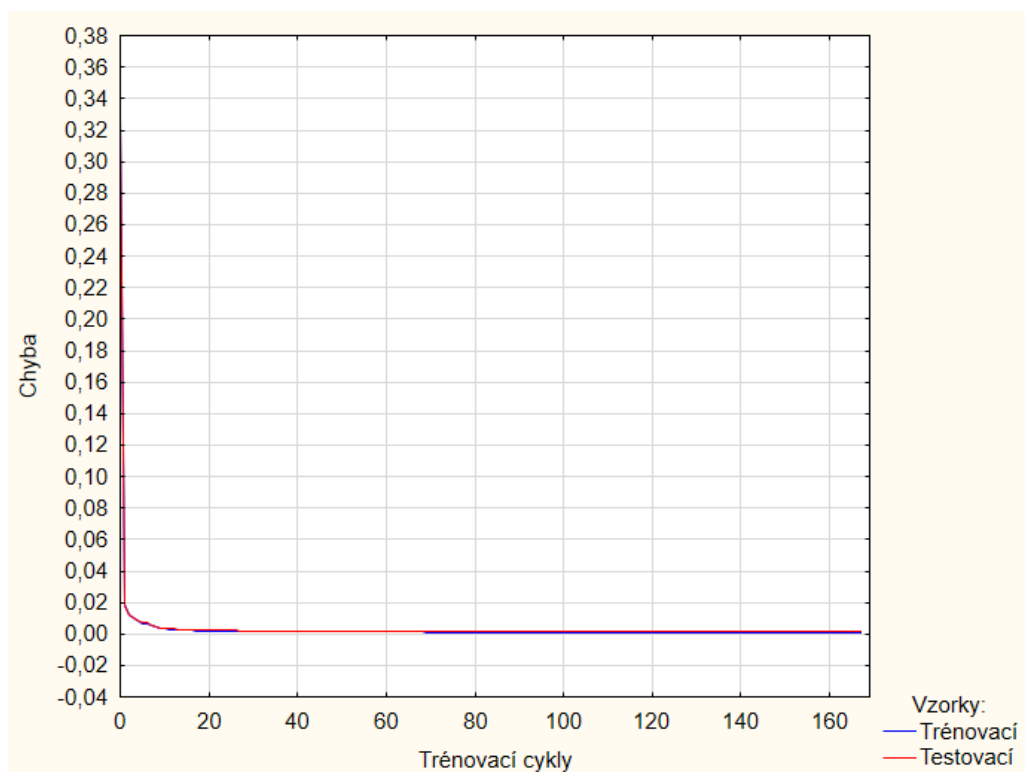
- E_{SOS} ... hodnota chybové funkce [-],
- N ... velikost trénovacího vzorku [-],
- t_i ... cílová, pozorovaná hodnota i -tého případu [-],
- y_i ... modelem predikovaná hodnota i -tého případu [-].

Na základě nejlepší shody byla zvolena NN typu MLP s 20 skrytými vrstvami, aktivační funkcí skryté vrstvy Tanh a exponenciální aktivační funkcí neuronů výstupní vrstvy. V dalším kroku byly definovány hodnoty vazeb mezi jednotlivými neurony pro každou lokalitu. Pro

každou lokalitu byly trénovány 3 NN typu MLP s 20 skrytými vrstvami a opět byla vybrána NN síť s nejnižší hodnotou chybové funkce. Konečným výstupem je tedy 31 NN, které se shodují typem NN, počtem skrytých vrstev a druhem aktivačních funkcí, ale liší se ve vahách vazeb mezi jednotlivými neurony.

K trénování byl použit trénovací algoritmus Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS). Trénování probíhalo na 70 % vzorku (trénovací vzorek), které byly ze vzorku vyčleněny prostým náhodným výběrem. Dalšíh 15 % dat bylo použito pro testování a zbývajících 15 % pro validaci modelu. Hodnoty spojitých vstupních proměnných byly před vstupem do modelu pomocí lineární transformace normalizovány do intervalu (0,1). Některé z aktivačních funkcí neuronů, například sigmoida nebo hyperbolický tangens, jsou totiž citlivé pouze na vstupní hodnoty v určitém rozsahu. Standardizací vstupních hodnot se rovněž eliminují vlivy rozdílů v jednotkách jednotlivých vstupních proměnných. Kategorické nebinomické vstupní proměnné byly rozděleny do více binomických proměnných tak, aby byly zohledněny všechny hodnoty, kterých proměnné nabývají. K tvorbě NN byla použita funkce Automatické neuronové sítě programu Statistica.

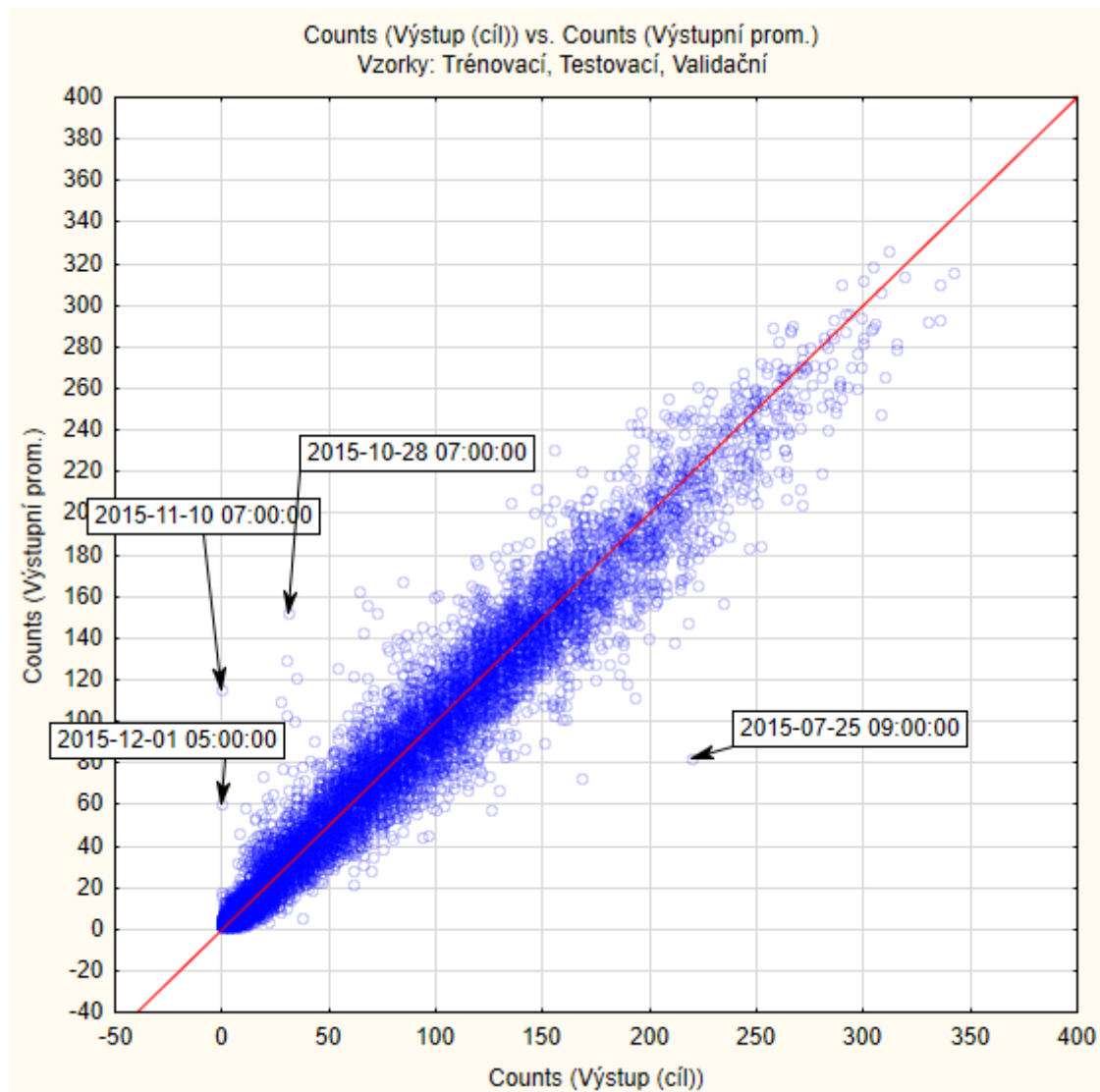
Graf na obr. č. 23 je záznamem trénovacího procesu pro lokalitu Pardubice_Totem most Wonky.



Obrázek 23 Trénovací graf pro MLP 66-20-1, lokalita Pardubice_Totem most Wonky (autor, s použitím Statistica).

Trénovací graf zobrazuje pokles hodnoty trénovací chyby v závislosti na počtu trénovacích cyklů. Z grafu je zřejmé, že s dalšími trénovacími cykly již nedochází ke snížení hodnoty trénovací chyby a trénování sítě je možné ukončit. Graf poskytuje také informaci o spolehlivosti modelu, kdy zpravidla již po několika úvodních trénovacích cyklech nedochází k výrazným změnám a zejména nárůstům hodnoty trénovací funkce, a to ani u trénovacího, ani u testovacího vzorku. Graf s obdobným průběhem byl získán pro všechny trénované lokality.

V grafu na obr. č. 24 jsou vyneseny hodnoty predikované modelem (svislá osa) v závislosti na pozorovaných hodnotách (vodorovná osa) v lokalitě Pardubice_Totem most Wonky. Graf obsahuje získané hodnoty pro celý vzorek (obsahuje trénovací, testovací i validační část dat).



Obrázek 24 Graf závislosti predikovaných hodnota a pozorovaných hodnot (NN), lokalita Pardubice_Totem most Wonky (autor, s použitím Statistica).

Z grafu na obr. č. 24 je zřejmá vysoká míra korelace mezi modelovanou a pozorovanou hodnotou. Koeficient determinace, který vyjadřuje, jaký podíl rozptylu v pozorování závislé proměnné se podařilo modelem vysvětlit (viz rovnici č. 19) je pro lokalitu Pardubice_Totem most Wonky roven 0,94.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \quad [-] \quad (19)$$

kde: R^2 ... koeficient determinace [-],
 Y_i ... pozorované hodnoty [-],
 \hat{Y}_i ... modelované hodnoty [-],
 \bar{Y}_i ... aritmetický průměr pozorovaných hodnot [-].

Upravený koeficient determinace, který zohledňuje počet vysvětlujících proměnných (viz rovnici č. 20) se v lokalitě Pardubice_Totem most Wonky shodoval s koeficientem determinace. Obdobně tomu bylo i u ostatních lokalit.

$$R_{adj.}^2 = 1 - \left[\frac{(1 - R^2)(n - 1)}{n - k - 1} \right] \quad [-] \quad (20)$$

kde: $R_{adj.}^2$... upravený koeficient determinace [-],
 R^2 ... koeficient determinace [-],
 n ... velikost vzorku [-],
 k ... počet vysvětlujících proměnných [-].

V grafech závislosti predikovaných a pozorovaných hodnot byly vizuálně identifikovány odlehlé hodnoty. Ty byly následně namátkou prověřeny. Například v lokalitě Pardubice_Totem most Wonky byly analyzovány 4 odlehlé hodnoty, které jsou v grafu (obr. č. 24) popsány příslušným datem.

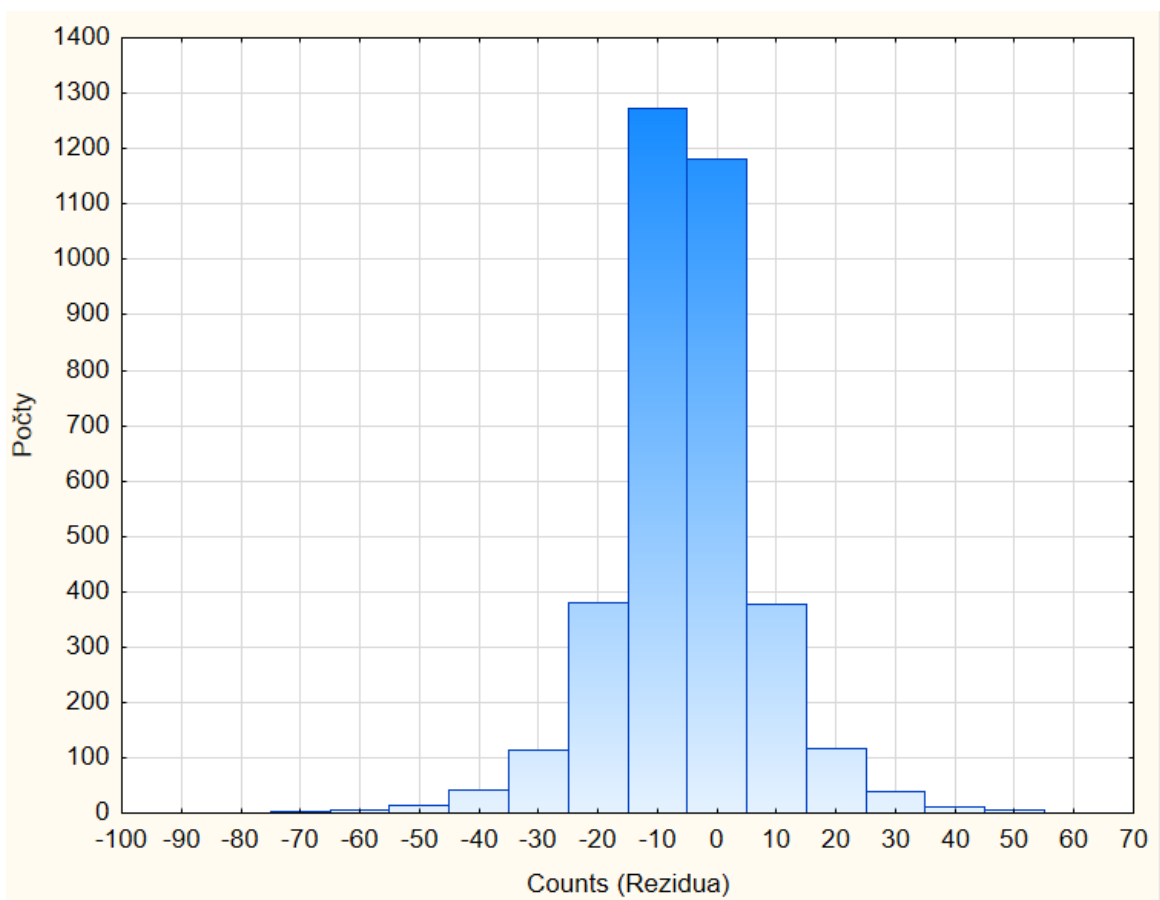
V jednom případě (25. 7. 2015) byla pozorovaná hodnota výrazně vyšší než hodnota odhadovaná modelem. Nejbližší okolní hodnoty přitom nevykazovaly významnou odchylku odhadu od pozorování. Příčinou mohlo být například konání kulturní, či sportovní akce, jednorázová bariéra na komunikační síti, která vedla k přesměrování cest do dané lokality, případně také záměrné opakované přejíždění sčítacího profilu (jedná se o lokalitu, ve které je sčítací zařízení opatřeno zobrazovacím zařízením). Žádnou s těchto příčin se nepodařilo autorovi práce potvrdit, ani vyloučit. Nepodařilo se vyloučit ani možnost krátkodobé poruchy

sčítacího zařízení. V některých dalších lokalitách byl zaznamenán častější výskyt těchto odlehlých hodnot (řádově desítky hodnot).

Vstupní hodnoty, pro které byla absolutní hodnota odchylek odhadu od pozorování větší než čtyřnásobek směrodatné odchylky výběru ($4 \cdot s$), byly ze vzorku vyřazeny pomocí autorem naprogramovaného algoritmu v R studiu. Z teorie pravděpodobnosti plyne, že odchylky vykazující normální rozložení pravděpodobnosti, jejichž absolutní hodnota je větší než $4 \cdot s$, nastávají s pravděpodobností 0,006 %. Směrodatná odchylka výběru byla vypočtena ze vztahu č. 21:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad [-] \quad (21)$$

- kde:
- s ... výběrová směrodatná odchylka [-],
 - N ... velikost vzorku [-],
 - x_i ... hodnota odchylky odhadu od pozorování i -tého případu [-],
 - \bar{x} ... průměrná hodnota odchylky odhadu od pozorování [-].



Obrázek 25 Histogram reziduí, lokalita Pardubice_Totem most Wonky (autor, s použitím Statistica).

Normální rozložení pravděpodobnosti hodnot odchylek odhadu od pozorování bylo ověřeno v histogramech reziduí pro jednotlivé lokality. Na obr. č. 25 je histogram rozložení odchylek v lokalitě Pardubice_Totem most Wonky.

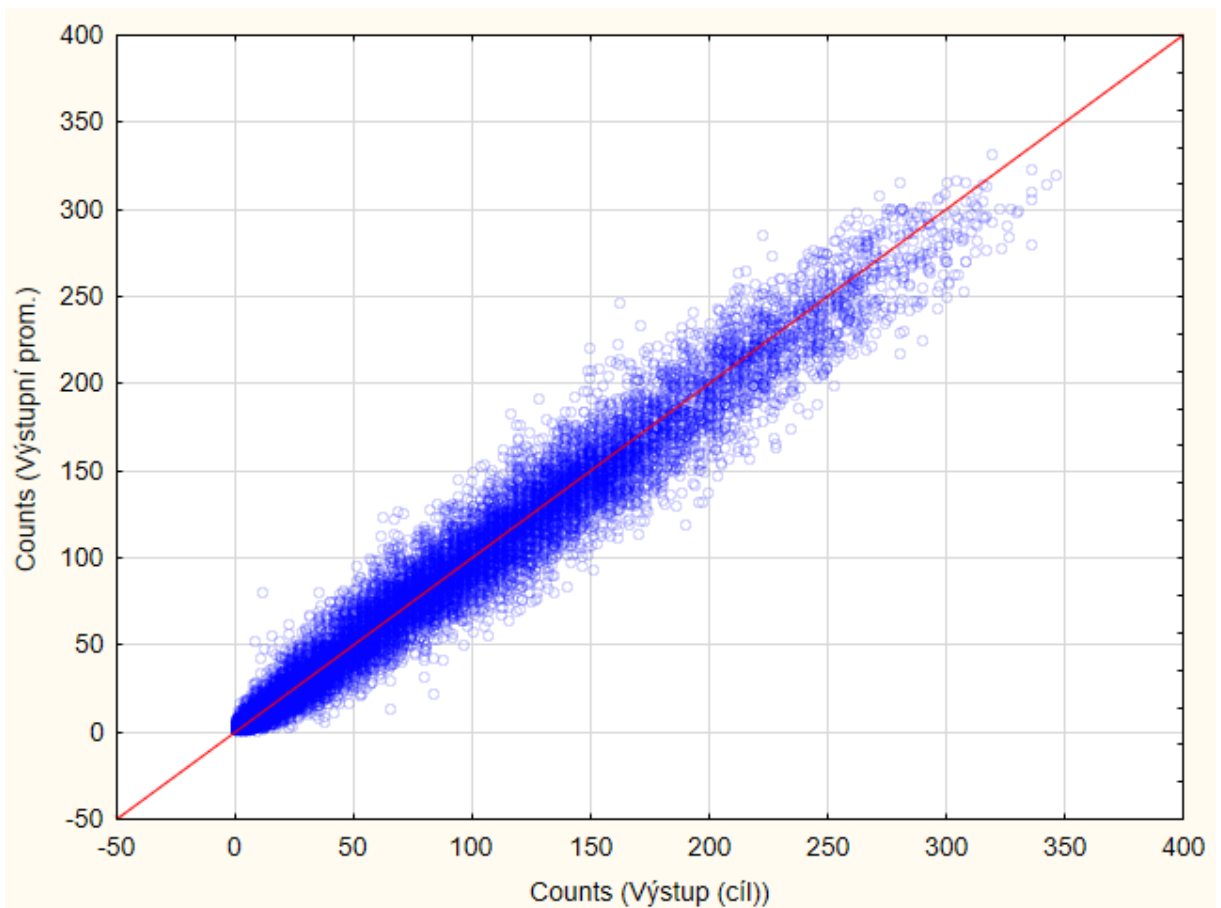
Počet vyřazených vstupních hodnot, na základě analýzy odlehlosti reziduí v jednotlivých lokalitách je uveden v celkovém zhodnocení všech modelů ve sloupci „vyřaz. odl. reziduí“ v tabulce č. 8 na straně 77.

U další vybrané odlehlé hodnoty (28. 10. 2015) byla naopak pozorovaná hodnota nižší než hodnota predikovaná. V tomto případě byla odhalena chyba ve vstupních datech, kdy autor nezohlednil státní svátky v druhé polovině roku 2015. Údaje pro státní svátky byly ve vstupních datech upraveny dle skutečnosti.

Ve dvou případech došlo v lokalitě Pardubice_Totem most Wonky k nulovému záznamu (pozorovaná hodnota) v případě, kdy modelem bylo odhadnuto více než 60, respektive více než 110 průjezdů. V obou případech přitom nejbližší okolní hodnoty nevykazovali významnou odchylku odhadu od pozorování. Lze se domnívat, že došlo ke krátkodobému výpadku sčítacího zařízení pro danou hodinu.

Tento jev byl zaznamenán i u ostatních lokalit, kdy u některých se jednalo o desítky až stovky výskytů. Ze vstupních dat byly odstraněny údaje, pro které model predikoval hodnotu větší než 10, přestože pozorovaná hodnota byla 0 (jedná se o výpadky sčítacích zařízení). Pro odstranění výpadků sčítacích zařízení byl autorem naprogramován algoritmus v R Studiu. Detailní analýza reziduí byla provedena pro všechny sčítací profily, následně byly na základě upravených dat určeny nové parametry modelů (NN). Počet vyřazených vstupních hodnot, na základě analýzy neočekávaných nulových hodnot v jednotlivých lokalitách je uveden ve sloupci „vyřaz. neoček. 0“ v celkovém zhodnocení modelů v tabulce č. 8 na straně 77.

Dodatečné odstranění chyb v datech, které byly příčinou odlehlých hodnot vedlo k průměrnému zlepšení koeficientu determinace z 0,88 na 0,90 (viz sloupec „NN R2 pův. vz.“ a sloupec „NN R2 upr. vz.“ tabulce č. 8 na straně 77). Na obr. č. 26 je graf predikovaný a pozorovaných hodnot v lokalitě Pardubice_Totem most Wonky po odstranění chyb ve vstupních datech. Koeficient determinace (původně 0,94) byl v této lokalitě po odstranění chyb ve vstupních datech roven 0,95.



Obrázek 26 Graf závislosti predikovaných hodnot a pozorovaných hodnot po odstranění chyb ve vstupních datech (NN), lokalita Pardubice_Totem most Wonky (autor, s použitím Statistica).

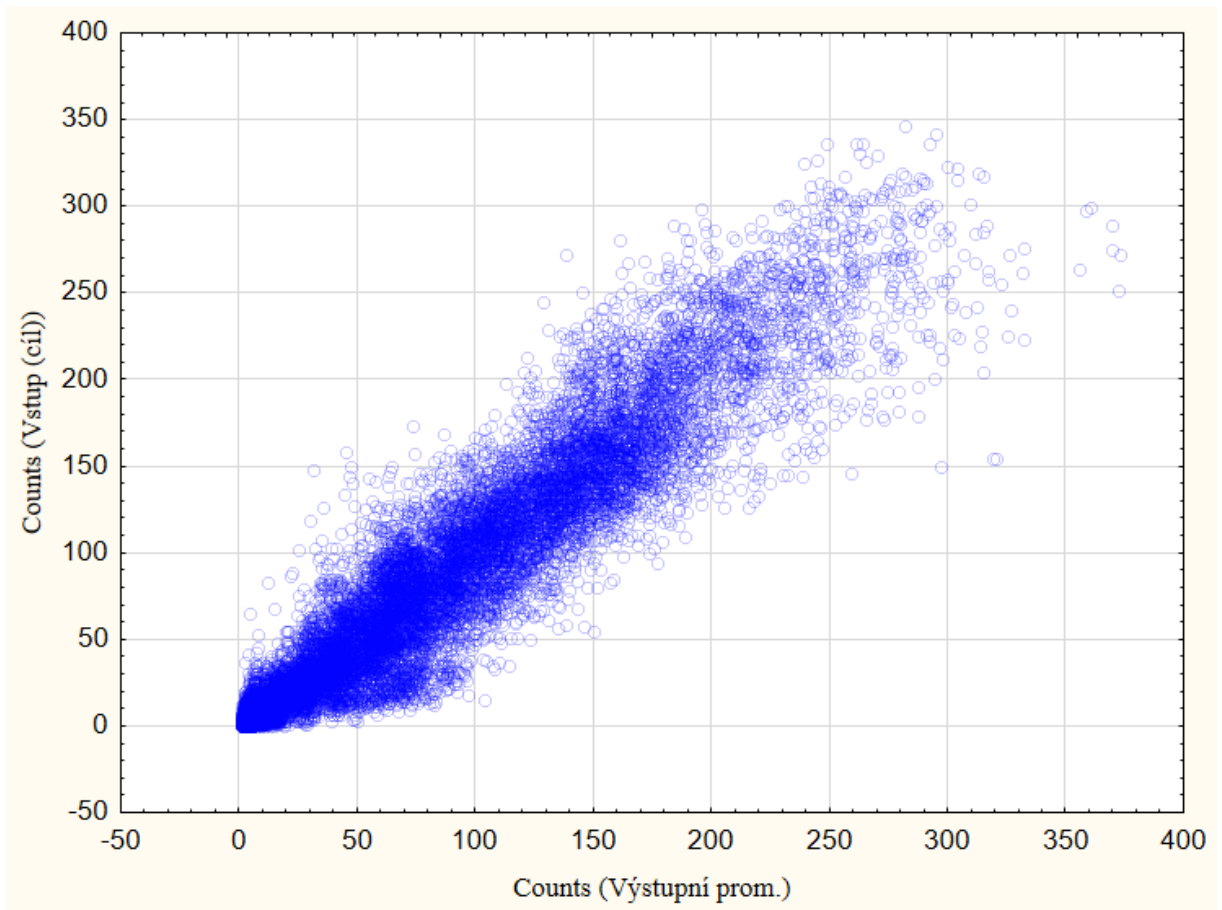
4.6.3 *Zobecněný lineární/nelineární model*

Pro tvorbu modelu byla v rámci disertační práce použita vedle metody NN také parametrická metoda. Hlavním cílem je srovnání metody neparametrické (NN) s parametrickou metodou. Aby bylo srovnání možné byly v obou metodách použity totožné vstupní proměnné bez jakékoliv úpravy (viz část 4.6.1).

Parametrická metoda, která umožňuje kombinaci spojitých i kategoričkových vstupních proměnných je zobecněný lineární/nelineární model. K tvorbě modelu a určení jeho parametrů byl opět použit příslušný modul programu Statistica. Jedná se o modul Generalized Linear/Nonlinear Models (GLZ). Program automaticky vyhodnocuje optimální linkovací funkce pro jednotlivé vysvětlující proměnné. Pro daný model bylo uvažováno Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti pozorovaných hodnot.

Na obr. č. 27 je graf pomocí GLZ predikovaných a pozorovaných hodnot v lokalitě Pardubice_Totem most Wonky po odstranění chyb ve vstupních datech. Z grafu je patrné, že rezidua modelu GLZ vykazují větší rozptyl než rezidua modelu NN. Koeficient determinace

pro lokalitu Pardubice_Totem most Wonky při použití GLZ činní 0,87. Průměrný koeficient determinace pro všechny lokality je 0,74 (viz sloupec „GLZ R2 upr. vz.“ tabulce č. 8 na straně 77).



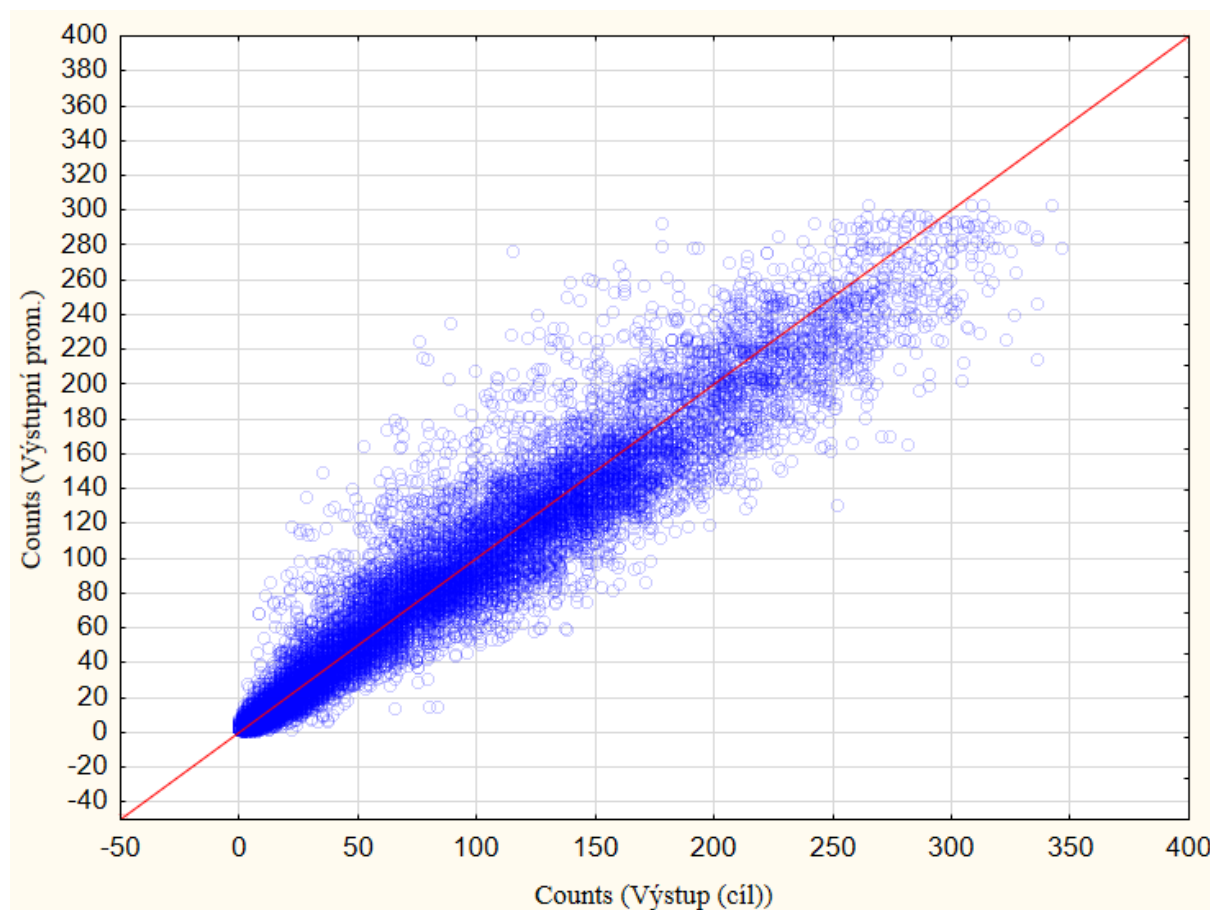
Obrázek 27 Graf závislosti predikovaných hodnota a pozorovaných hodnot (GLZ), lokalita Pardubice_Totem most Wonky (autor, s použitím Statistica).

4.6.4 Vliv počasí

Pro srovnání byl rovněž vytvořen soubor modelů s vynecháním vstupních proměnných reprezentujících povětrnostní vlivy. Do modelu tedy vstupovaly pouze parametry času. Pro tvorbu matematického modelu bez zahrnutí počasí byly rovněž použity NN a model vycházel z upraveného vzorku dat. Na obr. č. 28 je graf predikovaných a pozorovaných hodnot v lokalitě Pardubice_Totem most Wonky bez zahrnutí parametrů počasí. Z grafu je patrné, že podstatnou část variací (průměrný koeficient determinace pro všechny lokality byl 0,77) je možné vysvětlit pouze na základě parametrů času. Příslušné koeficienty determinace pro jednotlivé lokality jsou uvedeny v tabulce č. 8 na straně 77.

Jak bylo uvedeno v podkapitole 1.1.3, parametry počasí korelují s některými časovými parametry, například průměrná teplota a výskyt srážek variují v průběhu roku nebo teplota

v průběhu dne. Nelze tedy tvrdit, že povětrnostní vlivy vysvětlují pouhých 13 % variací (rozdíl průměrů koeficientů determinace pro modelů s a bez zahrnutím proměnných počasí). Určitá část vlivů počasí je pouze skryta za vstupními proměnnými, které reprezentují čas. Autor práce uvádí následující možnou interpretaci: 13 % variací lze vysvětlit pomocí zahrnutí parametrů počasí při spolupůsobení s parametry času.



Obrázek 28 Graf závislosti predikovaných hodnot a pozorovaných hodnot při vyřazení parametrů počasí (NN), lokalita Pardubice_Totem most Wonky (autor, s použitím Statistica).

Metoda NN neumožňuje přesnou interpretaci vlivu jednotlivých vstupních proměnných tak, jako například lineární regresní model. Nicméně, jak bylo uvedeno v předcházejícím odstavci, taková interpretace je značně zavádějící s ohledem na vzájemnou provázanost jednotlivých vysvětlujících proměnných. Vzájemně korelují nejen parametry počasí s parametry času, ale také jednotlivé parametry počasí mezi sebou (např. vlhkost vzduchu a výskyt srážek). Interpretace vlivu jednotlivých vstupních proměnných byly provedeny v některých předcházejících studiích (např. Thomas, 2013, Liu, 2014). Pro přesnou interpretaci by bylo nutné vytvořit pod-vzorek obsahující údaje pouze za určitý čas a sezónu. Například vzorek obsahující pouze údaje pořízené v jednom měsíci v určité hodině dne. Rizikem pro

provedení takové analýzy je nedostatečná velikost vzorku. Vzorek by obsahoval bezmála třisetkrát méně hodnot než vzorek dat použitý v této práci.

5 VYHODNOCENÍ A DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

V této kapitole jsou nejprve shrnuty a porovnány parametry vytvořených modelů a jsou diskutovány faktory ovlivňujících jejich přesnost (podkapitola 5.1). Je diskutován přínos práce pro vědeckou komunitu a přínosy pro praxi (podkapitola 5.2). V závěru kapitoly jsou vytyčeny další výzkumné úkoly a problémy k řešení (podkapitola 5.3).

5.1 Hodnocení a srovnání použitých modelů

Tabulka č. 8 obsahuje přehled statistik použitých pro hodnocení přesnosti všech vytvořených modelů (celkem 120 modelů). Přesnost modelů byla stejně jako u lokality Pardubice_Totem most Wonky vyjádřena koeficientem determinace, směrodatnou odchylkou reziduí, velikostí vzorku a počtem vyřazených hodnot v rámci analýzy reziduí.

Průměrný koeficient determinace byl určen pro všechny skupiny modelů:

- NN použité pro původní vzorek (v tabulce č.8 „NN R2 pův. vz.“),
- NN použité upravený vzorek (v tabulce č.8 „NN R2 upr. vz.“),
- GLZ použité pro upravený vzorek (v tabulce č.8 „GLZ R2 upr. vz.“),
- NN použité pro vzorek bez zahrnutí vlivů počasí (v tabulce č.8 „NN R2 vz. bez par. Počasí“).

Největší podíl variací se podařilo vysvětlit pomocí modelu NN použitým pro upravený vzorek a to průměrně 90 %. Zatímco pro GLZ byl průměrný podíl variací vysvětlených modelem pouze 74 %, což je ještě méně, než se podařilo v modelu NN vysvětlit pouze za použití parametrů času 77 %. Určitá nepřesnost ve srovnání průměrů za jednotlivé typy modelů mohla vzniknout v důsledku chybějících údajů ve čtyřech lokalitách pro model GLZ. GLZ model pro tyto lokality nebylo možné vytvořit. Při pokusu o jejich vytvoření v programu Statistica byla uvedena chyba v matematickém výpočtu, jejíž příčiny se nepodařilo autorovi práce objasnit. Nicméně i při vynechání příslušných čtyř lokalit získáme průměrný koeficientu determinace pro modely NN a upravený vzorek 0,90. Pomocí modelu NN lze vysvětlit o 16 % více variací než pomocí modelu na bázi GLZ. Dobrou schopnost predikce modelů na bázi NN lze přisuzovat obecné vlastnosti těchto modelů – schopnosti podchycení společného působení jednotlivých vysvětlujících proměnných.

Tabulka 8 Celkové zhodnocení použitých modelů.

Lokalita	velikost vzorku	sm. odch. reziduí	vyřaz. neoček. 0	vyřaz. odl. reziduí	vyřaz. celkem	NNR2 pův. vz.	NNR2 upr. vz.	GLZR2 upr. vz.	NNR2 vz. bez par. počasí
Pardubice 17 Listopadu.csv	15028	11.44	15	2	17	0.94	0.95	0.87	0.90
Pardubice Husova.csv	6448	12.83	4	0	4	0.93	0.94	0.83	0.89
Pardubice Kpt Bartoše.csv	3558	12.65	4	0	4	0.95	0.95	0.90	0.89
Pardubice Labská stezka.csv	6448	10.85	12	1	13	0.91	0.92	0.74	0.76
Pardubice Mezi Mosty.csv	3608	11.04	2	1	3	0.95	0.94	0.88	0.83
Pardubice most Wonkv.csv	3609	8.01	2	0	2	0.95	0.94	0.89	0.84
Pardubice Prokopův most.csv	5410	17.18	22	43	65	0.74	0.91	0.87	0.87
Pardubice Totem most Wonky.csv	17122	14.08	21	3	24	0.96	0.96	0.89	0.92
Pardubice U Mařáku.csv	17122	12.55	20	0	20	0.96	0.96	0.88	0.91
Pardubice Zdymadlo.csv	3167	9.15	11	0	11	0.95	0.95	0.87	0.90
Praha Barrandovský most x Str	40512	12.15	185	168	353	0.90	0.90	0.57	0.72
Praha Celetná.csv	31080	6.88	74	31	105	0.83	0.84	0.79	0.81
Praha Císařský ostrov.csv	49027	15.41	238	411	649	0.91	0.94	0.69	0.75
Praha Dukelských hrdinů.csv	37017	6.65	96	33	129	0.83	0.86	0.70	0.80
Praha Chodov.csv	37682	5.47	92	53	145	0.85	0.88	0.65	0.72
Praha Krč (Sulická).csv	50354	8.44	186	84	270	0.91	0.93	0.68	0.75
Praha Lahovičky (Strakonická)	50515	11.21	301	102	403	0.92	0.94	0.65	0.71
Praha Letňany.csv	40050	4.01	116	24	140	0.86	0.87	0.66	0.70
Praha Modřany.csv	38882	26.73	195	184	379	0.93	0.95		0.72
Praha nábřeží Kapitána Jaroše.d	49232	9.72	149	559	708	0.76	0.87	0.78	0.80
Praha Nuselský most.csv	39907	4.78	80	10	90	0.79	0.80		0.72
Praha Podbabská.csv	31955	5.99	146	137	283	0.87	0.90	0.62	0.69
Praha Podolí.csv	31381	3.88	62	2	64	0.84	0.85	0.70	0.73
Praha Podolské nábřeží - stezka	40944	18.42	164	451	615	0.87	0.91	0.67	0.75
Praha Povltavská.csv	37034	24.17	188	406	594	0.91	0.93		0.69
Praha Radotín.csv	32119	7.83	182	207	389	0.86	0.90	0.63	0.67
Praha Rohanské nábřeží.csv	49302	9.71	166	215	381	0.90	0.92	0.72	0.75
Praha Seberov.csv	29635	3.33	123	38	161	0.77	0.81	0.51	0.60
Praha Vítkov.csv	27997	5.66	133	37	170	0.84	0.86		0.65
Praha Vršovická.csv	50643	5.86	118	43	161	0.80	0.70	0.61	0.66
Praha Vysočany.csv	23818	7.38	95	11	106	0.91	0.92	0.63	0.69
průměr	29052	10,43	103	105	208	0,88	0,90	0,74	0,77

Jirsa, 2016

Nebyla prokázána závislost mezi velikostí vzorku a přesností odhadu. Autor se domnívá, že pro podchycení závislostí v použitých modelech existuje určitá hraniční velikost vzorku, po jejímž překročení již další nárůst počtu pozorování nemá pro přesnost modelu význam. Tato hranice byla ve všech sledovaných lokalitách překročena. I v lokalitách s nejnižším počtem pozorování je hodnota koeficientu determinace srovnatelná s lokalitami s nejvyšším počtem pozorování a často dokonce vyšší.

Koeficienty determinace pro jednotlivé lokality (v tabulce č.8 sloupec „ R^2 upr. vz.“) se pohybuje mezi hodnotou 0,70 (lokality Praha_Vršovická) a hodnotou 0,96 (lokality Pardubice_Totem Most Wonky a Pardubice_U Maťáku). V 21 z 31 lokalit byl koeficient determinace vyšší než 0,90, zatímco pouze ve 4 lokalitách nižší než 0,85. S vyšší přesností odhadovaly modely pro lokality v Pardubicích (s průměrným koeficientem determinace 0,94), než pro lokality v Praze (průměrný koeficient determinace 0,89).

V lokalitách, kde je koeficient determinace nižší než 0,85, může docházet k poruchám sčítacích zařízení, případně k chybným zápisům, které mohou být způsobeny například průjezdem jiného vozidla nebo výskytem původce elektromagnetické pole v blízkosti sčítacího zařízení (například trakční vedení, nebo vedení vysokého napětí). Tuto hypotézu by bylo vhodné ověřit kalibračním sčítáním, které v pražských lokalitách nebylo provedeno. Dále byl prověřen vztah mezi charakterem provozu určeným v části 4.4.2 a velikostí koeficientu determinace. Odchylka mezi průměrným koeficientem determinace pro lokality s převládajícím utilitárním charakterem provozu a lokalitami s převládajícím rekreačním charakterem provozu činí pouze 0,02. Charakter provozu tedy zásadním způsobem neovlivňuje možnosti predikce.

Jedinou zjištěnou příčinou ovlivňující přesnost modelu zůstává příslušnost lokality k pražskému nebo pardubickému systému. V Praze nebylo provedeno kalibrační sčítání a není tedy možné porovnat intervaly spolehlivosti měření pro oba systémy. Nelze tedy rozhodnout, zda příčinou větší přesnosti predikcí modelů v pardubických lokalitách je větší spolehlivost sčítacích zařízení, nebo větší předvídatelnost chování samotných uživatelů CD.

5.2 Určení přínosu práce pro vědeckou komunitu a praxi

Přínos práce pro vědeckou komunitu spočívá zejména v prověření možnosti modelování závislosti intenzit CD na počasí pomocí neparametrické metody NN. Potvrdilo se, že metoda NN je pro danou úlohu vhodná. Pomocí modelů založených na teorii neuronových sítí, se podařilo vysvětlit větší procento variací, než v dosavadních studiích (Thomas, 2013, Galop, 2012). Lze předpokládat, že použití NN bude vhodné nejen pro prognózování intenzit CD, ale rovněž pro prognózování intenzit dalších dopravních módů (pěší, automobilové dopravy, nebo přepravních proudů cestujících VD). Modely založené na principu NN mohou být využity v inteligentních dopravních systémech např. pro dynamické řízení dopravy. Mimoto se jedná o první práci tohoto rozsahu na dané téma v regionu střední a východní Evropy. V návaznosti na výstupy práce se objevuje řada nových vědeckých otázek.

Přínosem práce je také rešerše a následná kombinace dosavadních přístupů při řešení problému. Výsledný soubor vstupních proměnných byl sestaven na základě zkušeností z několika předchozích studií, ve kterých byly použity vždy pouze některé ze vstupních proměnných. Byly zahrnuty parametry času, parametry povětrnostních vlivů jako kategorické i spojité proměnné. Na základě výstupů z předchozích studií byly zahrnuty i parametry počasí v minulosti. Cílem bylo podchytit tzv. „lagged effect“ (zpožděný efekt) - zohlednění počasí v době, kdy se uživatel o volbě dopravního prostředku rozhoduje.

Samotný model lze využít pro rozličné úlohy vyžadující prognózu dat. Například simulační úlohy pro hodnocení trendu rozvoje CD. V těchto úlohách lze pomocí nastavení některých proměnných na konstantní hodnotu (například proměnných reprezentujících povětrnostní vlivy), hodnotit vliv dalších proměnných (například proměnných reprezentujících dny pracovního volna nebo povětrnostní vlivy).

Dalším využitím modelu je extrapolace chybějících dat. Chybějící hodnoty, například v důsledku výpadku sčítacího zařízení, lze pomocí modelu NN prognózovat. Objednatel sčítání tak může od zpracovatele obdržet kompletní vzorek dat pro účely porovnání jednotlivých měsíců a let. Kompletní, doplněný vzorek lze následně využít pro přesné hodnocení časových variací intenzit cyklistické dopravy.

Nicméně přínos práce pro praxi spočívá zejména v naplnění jejich vedlejších cílů. Autorem práce byl na základě požadavků z praxe vytvořen algoritmus pro extrapolaci chybějících dat, jejíž potřeba byla popsána v předcházejícím odstavci. Extrapolace za pomocí

modelu NN vyžaduje znalost příslušného SW prostředí a nelze ho zcela automatizovat. Proto byl výsledný algoritmus zjednodušen. Namísto parametrů počasí jsou hodnoty extrapolovány na základě známých hodinových variací pro jednotlivé dny týdne v příslušné lokalitě a na základě koeficientu, který vyjadřuje vztah mezi intenzitami v příslušné lokalitě a referenční lokalitě. Přičemž jako referenční lokalita je volena lokalita s nejvyšší mírou korelace s příslušnou lokalitou. Pro dílčí kroky výpočtu byly použity autorem naprogramované algoritmy popsané v podkapitole 4.4 této práce – Analýza nestandardních krátkodobých a dlouhodobých variací. V dosavadní praxi byly k doplňování chybějících dat využívány klouzavé průměry a nebyly tedy zohledňovány vlivy počasí. Vliv počasí je v nové metodě zahrnut, byť nepřímo, na základě srovnání intenzit CD s referenční lokalitou.

V části 4.2.1 byla navržena metoda pro určení spolehlivosti kalibrace sčítacích zařízení. Za použití matematické statistiky byl proveden výpočet intervalů spolehlivosti sčítacích zařízení v pardubických lokalitách. Byly využity údaje z kalibračního sčítání, které bylo provedeno dodavatelem zařízení pro město Pardubice. Přínosem není pouze informace o tom, s jakou přesností zařízení po kalibraci pracují. V průběhu kalibračního sčítání lze míru spolehlivosti průběžně sledovat a přizpůsobit velikost vzorku pro kalibrační sčítání cílené míře spolehlivosti. V některých lokalitách, které charakterizují vysoké intenzity CD a kde sčítací zařízení nevykazuje velkou odchylku, může být potřebná míra spolehlivosti dosažena už v průběhu první hodiny sčítání. Pomocí metody lze šetřit prostředky na provedení dopravního průzkumu. Například v Pardubicích probíhalo kalibrační sčítání v každé lokalitě po dobu 16 hodin.

V části 4.4.2 byla navržena matematická metoda pro určení charakteru provozu CD. V obcích, ve kterých bylo provedeno sčítání CD, ať už manuální, nebo pomocí zařízení pro automatické sčítání CD, může být pomocí vytvořené metody proveden odhad charakteru provozu CD v příslušných lokalitách. Laickou i odbornou veřejností předpokládány charakter provozu CD v některých případech nemusí odpovídat skutečnosti. V rámci práce byl odhadnut charakter provozu pro lokality v Praze. I v Praze, ve které je dle průzkumů realizováno pouze přibližně 1 % cest na kole, je utilitární CD významně zastoupena. Zdaleka se nejedná pouze o volnočasovou aktivitu. Informace o charakteru provozu cyklistické dopravy mohou být dále využity v oblasti plánování dopravy ve strategické/koncepční rovině. Znalost charakteru provozu CD rovněž umožňuje zohlednění specifických potřeb jednotlivých skupin uživatelů CD při návrhu infrastruktury.

5.3 Vytyčení dalších výzkumných úkolů a problémů k řešení

V této práci byl vytvořen model závislosti CD na počasí, které je vedle času nejdůležitějším ovlivňujícím faktorem CD. Cílem práce nebylo hodnocení vlivu dlouhodobých ovlivňujících faktorů, kterými jsou například parametry sídla, kvalita infrastruktury, rozvoj dopravního systému a další faktory ovlivňující parametry cest (délku, cíle cest apod.). Zahrnutí těchto faktorů do modelu je předpokladem pro jeho zobecnění a rozšíření možností aplikace modelu. Cílem takového komplexního modelu může být například odhad intenzity CD v určité lokalitě bez nutnosti provedení předchozího sčítání. Pro takto komplexní model by byl zapotřebí rozsáhlý vzorek dat pokrývající celou škálu lokalit v různých městech a lokalitách těchto měst.

Dalším vytyčeným výzkumným úkolem je porovnání variací intenzit CD s variacemi intenzit dalších dopravních módů (pěší, IAD, MHD). V této práci bylo modelem zjištěno, že intenzity CD vlivem nepříznivých povětrnostních vlivů klesají. Nezodpovězenou otázkou je, zda v důsledku poklesu intenzit CD dochází k nárůstu intenzit VD, pěší či IAD a jakém poměru případně tyto intenzity rostou.

Dalším vytyčeným úkolem je provedení dotazníkových šetření cyklistů ve sledovaných lokalitách. Zjištění parametrů cest, sociodemografických údajů o uživatelích a jejich osobních preferencí by přispělo k lepšímu pochopení příčin variací intenzit CD. Na základě informací o parametrech cest by bylo možné zpřesnit metodu pro odhad charakteru CD. Bylo by možné popsat rozdíly mezi skutečným a samotnými cyklisty vnímaným významem faktorů ovlivňujících CD.

Matematický model vytvořený v této práci by bylo dále možné využít pro řadu simulačních úloh s cílem hodnocení významu jednotlivých ovlivňujících faktorů. Jedná se například o hodnocení citlivosti vysvětlované proměnné na jednotkovou změnu určité vysvětlující proměnné. Nicméně pro tento typ úlohy je třeba zohlednit možnou provázanost a spolupůsobení vysvětlujících proměnných. Pro tyto účely by bylo nutné ponechat ve vzorku konstantní hodnotu té proměnné, u které lze očekávat provázanost s posuzovanou proměnnou. Jako příklad lze uvést pod-vzorek obsahující údaje pouze za určitý čas a měsíc, ve kterém by vzájemná provázanost parametrů počasí a času byla eliminována.

6 VLASTNÍ PŘÍNOSY DOKTORANDA

Autor práce splnil vytyčený cíl práce, **navrhl matematický model závislosti intenzit cyklistické dopravy na počasí, krátkodobých faktorech a charakteru provozu cyklistické dopravy.**

Autor splnil všechny vedlejší cíle práce: **navrhl matematickou metodu pro určení spolehlivosti kalibrace sčítacích zařízení, které běžně vykazují systematickou chybu, navrhl metodu pro určení charakteru provozu CD na základě hodinových variací a navrhl metodu pro extrapolaci chybějících dat.**

Autor postupoval podle vytyčených kroků. Při plnění jednotlivých úkolů používal navržené postupy, teorie a SW nástroje. Byl proveden sběr dat ze systémů pro automatické sčítání cyklistické dopravy. Pro sběr dat o počasí byl autorem navržen algoritmus, který data automaticky načte z příslušných serverů zaměřených na počasí. Byla provedena statistická analýza dat za použití standardních statistických metod. **Pro třídění a analýzu dat autor rovněž naprogramoval algoritmy v platformě R Studio.** Autor zanalyzoval nestandardní krátkodobé a dlouhodobé variace cyklistické dopravy, opět za použití R. Pro určení charakteru provozu v jednotlivých lokalitách na základě hodinových variací použil lineární programování. **V programu Statistica autor vytvořil matematický model závislosti intenzit CD na počasí, krátkodobých faktorech a charakteru provozu CD.** Při tvorbě modelu použil dvě varianty řešení – pomocí NN a pomocí GLZ. Získané varianty modelu byly zhodnoceny a vzájemně porovnány.

Autor zhodnotil přínos práce pro vědeckou komunitu a praxi a vytyčil další možné výzkumné úkoly a problémy k řešení týkající se řešené problematiky.

7 ZÁVĚR

Cílem práce byla tvorba matematického modelu závislosti cyklistické dopravy na počasí a dalších faktorech. Cíl byl naplněn tvorbou modelu na bázi neuronových sítí. Tímto modelem se podařilo vysvětlit průměrně 90 % variací. Jedná se o jednotky až desítky procent více vysvětlených variací, než bylo dosaženo v předcházejících studiích. Přičemž v lokalitách s nejlepší shodou odhadovaných a pozorovaných hodnot se jednalo až o 96 % vysvětlených variací. Pro srovnání s modelem neuronových sítí byl vytvořen rovněž zobecněný lineární/nelineární model, kterým bylo vysvětleno průměrně pouze 74 % variací. Dobrou schopnost predikce modelů na bázi NN lze přisuzovat obecné vlastnosti těchto modelů – schopnosti podchycení spolupůsobení jednotlivých vysvětlujících proměnných.

Dále byl vytvořen model na bázi NN, který nezahrnoval vstupní proměnné reprezentující povětrnostní vlivy – tento model vysvětloval v průměru 77 % variací. Je zřejmé, že časové parametry mají pro predikci intenzit cyklistické dopravy větší význam než parametry počasí. Nicméně význam jednotlivých vysvětlujících proměnných nelze exaktně určit. Parametry počasí vykazují vzájemnou provázanost. Vzájemnou korelaci vykazují rovněž parametry času a počasí. Jedním z práce vyplývajících úkolů pro další výzkum je použití modelu pro simulace vlivu jednotkové změny vysvětlující proměnné na vysvětlovanou proměnnou. Tyto simulační úlohy budou vyžadovat výběr specifických vzorků dat tak, aby neobsahovaly vysvětlující proměnné korelující s proměnnou, jejíž význam je posuzován.

Na základě manuálního sčítání, byly určeny intervaly spolehlivosti pro kalibrované sčítací zařízení v Pardubickém systému pro sčítání cyklistické dopravy. Byla zjištěna maximální odchylka sčítání $\pm 4\%$, na 95% hladině významnosti. Dále bylo zjištěno, že rozsah vzorku provedeného kalibračního sčítání v Pardubicích by bylo, s ohledem na požadovanou přesnost, ve většině případů možné zkrátit z 16 hodin až na 2 hodiny.

Na základě hodinových variací denních intenzit byl určen charakter provozu cyklistické dopravy v jednotlivých lokalitách v Praze. Dle provedeného odhadu převažuje v 16 z 23 pražských sčítacích profilů utilitární charakter provozu. Odhadované podíly charakterů provozu v jednotlivých profilech odpovídají sídelní struktuře a funkčnímu využití území města.

Výstupy práce jsou základem pro další praktické aplikace a poslouží jako východisko pro řešení dalších vědeckých otázek. Vedle simulačních úloh jsou to například problémy extrapolace chybějících dat, ověření metody pro určení charakteru provozu dotazníkovým šetřením, zkoumání vzájemného vztahu mezi variacemi intenzit různých druhů dopravy.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- Ahrens, A., 2008, Sonderauswertung zur Verkehrserhebung, Mobilität in Städten – SrV 2008‘
- Antonová, B., Chocholáč, J., Pojkarová, K., Drahotský, I., 2016. Vliv klimatických podmínek na cyklistickou dopravu v Pardubicích a okolí s vazbou na udržitelnost tohoto dopravního módu. Perner’s Contacts. ISSN 1801-674X.
- Bartoš, L., 2012. Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích: TP technické podmínky 189. 2. vyd.. Liberec: EDIP. ISBN 978-80-87394-06-9.
- Bartoš, L., 2010. Prognóza intenzit automobilové dopravy: TP technické podmínky 225. 1. vyd.. Liberec: EDIP
- Bergström, A., Magnusson, R., 2003. Potential of transferring car trips to bicycle during winter. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2003, vol. 37, no. 8, s. 649-666.
- Brandenburg, Ch., Matzarakis, A., Arnberger A., 2007. Weather and cycling - a first approach to the effects of weather conditions on cycling. *Meteorological Applications*. 2007, vol. 14, no. 1, s. 61-67.
- Brůhová-Foltýnová, H., Braun Kohlová, M., Brůha, J., Máca, V., Urban, J., 2008. Analýza Každodenního Dopravního Chování Dospělého Městského Obyvatelstva a Nástroje Regulace Dopravy. Prague: Univerzita Karlova v Praze, Centrum pro otázky životního prostředí
- Böcker, L., Dijst, M., Prillwitz, J., 2013a. Impact of everyday weather on individual daily travel behaviours in perspective: a literature review. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal* 33(1), 71–91.
- Böcker, L., Prillwitz, J., Dijst, M., 2013b. Climate change impacts on mode choices and travelled distances: a comparison of present with 2050 weather conditions for the Randstad Holland. *Journal of Transport Geography* 28, 176–185
- CAMEA, spol. s r.o. Statistika počtu projetých cyklistů v cyklisticky zajímavých lokalitách [online]. [cit. 2016-10-07]. Dostupné z: <https://unicam.camea.cz/Discoverer/BikeCounter/Index>
- Cools, M., 2009. Inter- and intraday variability of Flemish travel behavior. Ph.D. Thesis. University of Hasselt, Hasselt.
- Cools, M., Moons, E., Creemers, L., Wets, G., 2010. Changes in travel behavior in response to weather conditions: do type of weather and trip purpose matter? *Transportation Research Record* 2157, 22-28. DOI: 10.3141/2157-03.
- Cools, M., Creemers, L., 2013. The dual role of weather forecasts on changes in activity-travel behaviour. *Journal of Transport Geography* 28, 167-175.

- Creemers, L., Wets, G., Cools, M., 2015. Meteorological variation in daily travel behaviour: evidence from revealed preference data from the Netherlands. *Theoretical and Applied Climatology* 120, 183-194. DOI 10.1007/s00704-014-1169-0
- Dijst, M., Böcker, L., Kwan, M.P., 2013. Exposure to weather and implications for travel behaviour: introducing empirical evidence from Europe and Canada. *Journal of Transport Geography* 28(1), 24–26.
- Eco Counter. Webové rozhraní pro ukládání a správu dat z automatického systému pro sčítání cyklistické dopravy v Pardubicích [online]. [cit. 2016-10-07]. Dostupné z: <https://www.eco-visio.net/>
- Edwards, J.B., 1999. Speed adjustment of motorway commuter traffic to inclement weather. *Transportation Research Part F* 2, 1-14.
- Gallop, C., Tse, C., Zhao, J., 2012. A seasonal autoregressive model of vancouver bicycle traffic using weather variables. *Transport Research Board 2012 Annual Meeting*.
- Hanson, S., Hanson, P., 1977, Evaluating the impact of weather on bicycle use. *Transport. Res. Rec.* 2536, 18.
- Jaarsma, C.F., Wijnstra, F.J., 1995. Coincidence or trend? A method for analysis of temporal variation of daily bicycle traffic flows. *Proceedings of the 7th World Congress on Transportation Research*, Sydney, Australia.
- Chen, R.B., Mahmassani, H.S., 2015. Let it rain: weather effects on activity stress and scheduling behavior. *Travel Behaviour and Society* 2, 55-64
- Jirsa, V., 2015a. Průzkum dopravního chování v Pardubicích. *Dopravní Inženýrství*. 2015, vol. 01, s. 23-25. ISSN 1801-8890.
- Jirsa, V., Kala, L., Nejedlý, O., 2015. Sledování intenzit cyklistické dopravy v Pardubicích. *Dopravní Inženýrství*. 2015, vol. 02, s. 23-25. ISSN 1801-8890.
- Jirsa, V., 2015b. Neural networks in modelling weather-cycling relationship. *6 th International Scientific Conference*, 2015. 208-214 s. ISBN 978-80-7395-924-1.
- Jirsa, V., 2016. Odborná práce ke státní doktorské zkoušce. *Dopravní fakulta Jana Pernera. Univerzita Pardubice*.
- Kala, L., 2015. Vyhodnocení dat z celoměstského systému pro monitoring cyklistické dopravy za období 1. 4. 2014 – 1. 4. 2015. *Statutární město Pardubice*.
- Kim, J., Mahmassani, H.S., Dong, J., 2010. Likelihood and duration of flow breakdown: modeling the effect of weather. *Transportation Research Record* 2188, 19-28. DOI: 10.3141/2188-03

- Koetse, M.J., Rietveld, P., 2009. The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D* 14(3), 205–221.
- Lewin, A., 2011. Temporal and weather impacts on bicycle volumes. *Transp. Res. Rec.* 2536, 18.
- Liu, C., Yusak O. Susilo a Anders Karlström, 2014. Examining the impact of weather variability on non-commuters' daily activity–travel patterns in different regions of Sweden. *Journal of Transport Geography*. 182, vol. 39, s. 36; 36-48; 48. ISSN 0966-6923; 18731236.
- Liu, C., Susilo, Y.O., Karlström, A., 2015a. The influence of weather characteristics variability on individual's travel mode choice in different seasons and regions in Sweden. *Transport Policy*. 182, vol. 41, s. 147; 147-158; 158. ISSN 0967-070X; 1879310X.
- Liu, C., Susilo, Y.O., Karlström, A., 2015b. Investigating the impacts of weather variability on individual's daily activity-travel patterns: a comparison between commuters and non-commuters in Sweden. *Transportation Research Part A* 82, 47-64.
- Liu, C., Susilo, Y.O., Termida, N.A., 2015c. Subjective perception towards uncertainty on weather conditions and its impact on out-of-home leisure activity participation decisions. Paper presented in 6th International Symposium on Transportation Network Reliability, Nara, Japan.
- Liu, C., Susilo, Y.O., Karlström, A., 2016. Considering everyday weather in travel behaviour researches? From data collection to policy evaluation. In Press.
- Martolos, J., Bartoš, L., Možnosti stanovení návrhových intenzit dopravy na základě krátkodobého měření. *Dopravní Inženýrství*. 2012, vol. 1, no. 2, s. 21-23. ISSN 1801-8890.
- Mařík, V., Štěpánková O., Lažanský J., *Umělá inteligence (4)*. Praha: Academia, 2003. ISBN: 80-200-1044-0.
- Miranda-Moreno, L., Kho, C., 2012. Winter cycling in North American cities: climate and roadway surface conditions. The 91st Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, DC.
- Miranda-Moreno, L., Nosal, T., 2011. Weather or not to cycle; whether or not cyclist ridership has grown: a look at weather's impact on cycling facilities and temporal trends in an urban environment. *Transport Res. Rec.* 2300.
- Miranda-Moreno, L., Nosal, T., Schneider, R.J., Proulx, F., 2014. Classification of bicycle traffic patterns in five North American Cities. *Transp. Res. Rec.* 2339.
- Miranda-Moreno, L., Nosal, T., 2014. The effect of weather on the use of North American bicycle facilities: A multi city analysis using automatic counts. *Transport Res. A* 66., s. 213-225.

- Nankervis, M., 1999a. The effect of weather and climate on bicycle commuting. *Transp. Res. A* 33, 417-431.
- Nankervis, M., 1999b. The effects of weather and climate on urban bicycle commuters' decisions to ride. A pilot study. *Road Transp. Res.* 8, 85-97
- Nordback, K., Piatowski, D., Janson, B., Marshall, W., Krizek, K., Main, D. Using inductive loops to count bicycles in mixed traffic. *J. Transp. Inst. Transp. Eng.* 2, 39-57
- Pucher, J., Buehler, R., 2011. *Analysis of Bicycling Trends and Policies in Large North American Cities: Lessons for New York*. Prepared for the Research nad Innovative Technology Administration, United States Department of Transportation, Washington DC.
- Richardson, A.J., 2000. *Seasonal and Weather Impacts on Urban Cycling Trips*. TUTI Report for the Urban Transport Institute, Victoria.
- Rose, G., Ahmed, A.F., Figliozzi, M., Jakob, C., 2011. Quantifying and comparing effects of weather on bicycle demand in Melbourne, Australia, and Portland. *Oregon. Transport. Res. Rec.* 3205.
- StatSoft, 2016. Úvod do neuronových sítí [online]. [cit. 2015-06-18]. Dostupné z: http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/2013_02_05_StatSoft_Neuronove_site_linky.pdf
- Šenk, P., Kouřil, P., 2014. Průzkumy dopravního chování v ČR a zahraničí. Potřebujeme národní průzkum. *Dopravní Inženýrství*. 2014. ISSN 1801-8890
- Tin Tin, S., Woodward, A., Robinson, E., Ameratunga, S., 2012. Temporal, seasonal and weather effects on cycle volume: an ecological study. *Environ. Health* 11, 12.
- Thomas, T., Jaarsma, R., Tutert, B., 2013. Exploring temporal fluctuations of daily cycling demand on Dutch cycle paths: the influence of weather on cycling. *Transportation (Dordrecht)*. 01, vol. 40, no. 1, s. 1; 1-22; 22. ISSN 0049-4488; 15729435.
- Winters, M., Davidson, G., Kao, D., Teschke, K., 2011. Motivators and deterrents of bicycling: comparing influences on decisions to ride. *Transportation*. 2011, vol. 38, no. 1, s. 153-168.
- Wunderground.com, 2016 [online]. <https://www.wunderground.com/history>.
- OFCM Office of the Federal Coordination for Meteorological Services and Supporting Research / U.S. Department of Commerce / National Oceanic and Atmospheric Administration, 2005. *Federal Meteorological Handbook No. 1 Surface Weather Observations and Reports*. Washington, D.C.

9 PUBLIKAČNÍ ČINNOST

- (1) JIRSA, Vojtěch. Průzkum dopravního chování v Pardubicích. *Dopravní Inženýrství*. 2015, vol. 01, s. 23-25. ISSN 1801-8890.
Autor seznamuje se základními výstupy průzkumu dopravního chování, který byl proveden v Pardubicích v roce 2012. V článku je provedeno srovnání dopravního chování v Pardubicích a ve východoněmeckých městech odpovídající velikosti. Druhá část článku je věnována popisu základních rysů metodiky průzkumu. V závěrečné části je diskutován význam průzkumů dopravního chování pro chápání, hodnocení a plánování dopravního systému města.
- (2) JIRSA, Vojtěch, Kala, L., Nejedlý, O. Sledování intenzit cyklistické dopravy v Pardubicích. *Dopravní Inženýrství*. 2015, vol. 02, s. 23-25. ISSN 1801-8890.
Článek stručně popisuje stav cyklistické dopravy v Pardubicích. Zaměřuje se zejména na způsoby a metodiku automatického sledování intenzit cyklistické dopravy, které v Pardubicích probíhá od roku 2013. Dále seznamuje čtenáře s použitou technologií sčítání a ukazuje příklady vyhodnocení a interpretace naměřených dat. V závěru se pak autoři zamýšlí nad možnostmi dalšího využití získaných dat.
- (3) JIRSA, Vojtěch, Ledvinová, M., Drdla, P. Studie posouzení dopravy na sídlišti Žďár nad Sázavou 6. *Výzkumná zpráva*. 2016.
- (4) JIRSA, Vojtěch. Neural networks in modelling weather-cycling relationship. 6 th International Scientific Conference, 2015. 208-214 s. ISBN 978-80-7395-924-1.
Autor analyzuje údaje o intenzitách cyklistické dopravy v jednom sčítacím profilu za jeden rok. Pomocí neuronových sítí je vytvořen model závislosti proudu cyklistů na počasí. Údaje o počasí byly získány z nedaleké amatérské meteorologické stanice. Autor seznamuje s principy metody a diskutuje výhody a nevýhody užití pro řešení daného problému. Článek obsahuje stručnou diskuzi přesnosti modelu a možnosti jeho využití. Jsou obsažena doporučení pro další práci.
- (5) JIRSA, Vojtěch. Tři příklady opatření udržitelné městské mobility (Stockholm, Gratz, Pardubice). *Ochrana ovzduší ve státní správě, teorie a praxe XI*, 2016. Třebíč. ISBN 978-80-86832-95-1.
Autor uvádí příklady dobré praxe v oblasti plánování dopravních systémů měst a shrnuje jejich dopady na dopravní chování obyvatel. Článek se mimo jiné

dotýká tématu vlivu realizovaných opatření na dopravní chování obyvatel měst.

Jsou uvedeny příklady opatření z oblasti podpory rozvoje cyklistické dopravy.

- (6) JIRSA, Vojtěch. Vývoj dopravy a principy plánování udržitelné městské mobility.

Ochrana ovzduší ve státní správě, teorie a praxe XI, 2016. Třebíč. ISBN 978-80-86832-95-1.

Autor v příspěvku rozebírá vztah mezi sídelní strukturou, délkou cest a volbou dopravního prostředku. Představuje princip dopravní indukce a pozitivní zpětnou vazbu mezi navyšováním kapacity komunikační sítě, změnou životního stylu, růstem délky cest a nárůstem podílu automobilové dopravy na cestách. Dále uvádí možné přístupy ke snížení negativních dopadů dopravy ve městech. Představuje základní principy plánování udržitelné městské mobility: hodnocení scénářů rozvoje dopravních systémů, integrace jednotlivých dopravních módů a participativní přístup.

- (7) **JIRSA, Vojtěch, Susilo, Y. Estimating the hourly variability of bicycle trip patterns and characteristics from automatic bicycle counters: Case study in Prague, Czech Republic. International Conference on traffic and Transport Engineering ICTTE. 2016. Belgrade, Serbia. ISBN 978-86-916153-3-8.**

Příspěvek se věnuje možnostem určení charakteru provozu cyklistické dopravy v profilech osazených zařízení pro kontinuální sčítání cyklistické dopravy v Praze. Charakter provozu je určen na základě hodinových variací cyklistické dopravy pomocí metody lineární optimalizace.

OSTATNÍ ČINNOST DOKTORANDA

Akademická činnost

Akademický rok 2014/2015

- zimní semestr
 - cvičící v předmětech Dopravní inženýrství
 - vedení bakalářských prací
- letní semestr
 - cvičící v předmětech Územní plánování v dopravě, Problémy dopravy a udržitelná mobilita
 - vedení bakalářských prací

Akademický rok 2015/2016

- letní semestr
 - cvičící v předmětech Územní plánování v dopravě, Problémy dopravy a udržitelná mobilita, Hospodářská a dopravní geografie

Akademický rok 2016/2017

- zimní semestr
 - cvičící v předmětech Dopravní inženýrství a Územní plánování v dopravě
 - vedení bakalářských prací
- letní semestr
 - cvičící v předmětu Dopravní inženýrství
 - vedení bakalářských prací
 - vedení diplomových prací

Účast na projektech

- účast na projektech Studentská grantová soutěž (**SGS 2014**, č. 51030/20/SG530001, **SGS 2015**, č. 51030/20/SG540001, **SGS 2016**, č. 51030 /20/SG550001
- účast na smluvním výzkumu č. SD565003/82/50220: Studie posouzení dopravy na sídlišti Žďár nad Sázavou 6

Zahraníční stáže

- zimní semestr akademický rok 2015/2016 (září 2015 až leden 2016) – KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Division of Systems Analysis and Economic